

Mineralogia da brecha Santa Helena do jazigo de W da Borralha, Montalegre

Alexandra Ribeiro da Mota Fernandes

Mestrado em Geologia

Departamento Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2016

Orientador

Fernando Manuel Pereira Noronha

Professor Catedrático

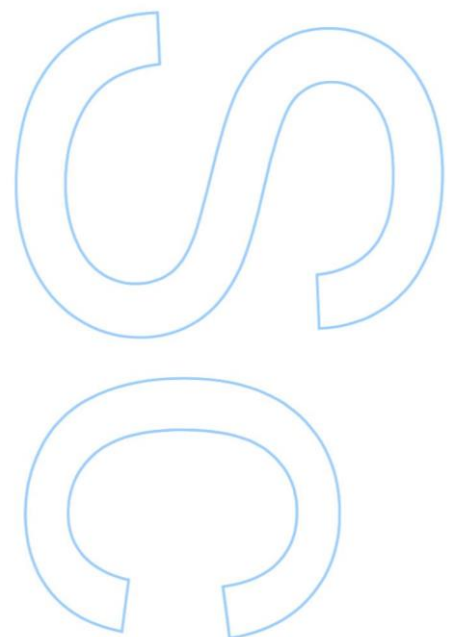
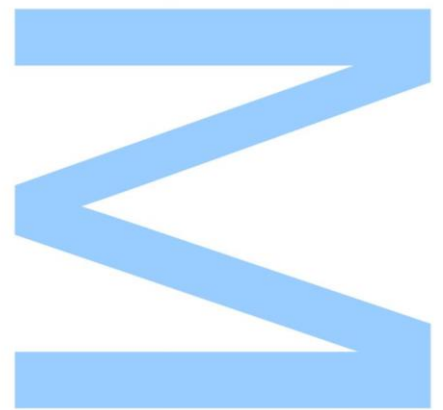
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientadora

Violeta Isabel Monteiro Ramos

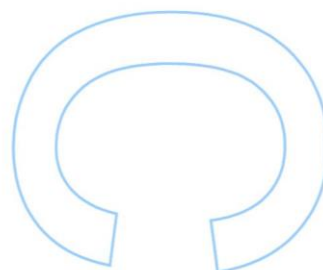
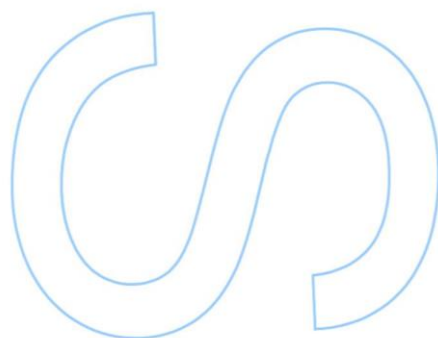
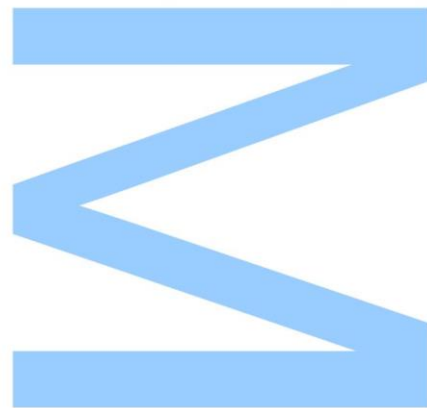
Investigadora ICT

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto



Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.
O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



"Para ser grande, sê inteiro.

Nada teu exagera ou exclui.

Sê todo em cada coisa.

Põe quanto és no mínimo que fazes.

Assim em cada lago a lua toda brilha, porque alta vive."

Ricardo Reis (heterónimo de Fernando Pessoa) in "Odes"

Agradecimentos

A concretização desta dissertação não teria sido possível sem o envolvimento e auxílio de diversas pessoas e a todas desde já o meu agradecimento.

Ao Professor Doutor Fernando Noronha por me ter aceite como orientanda, desafiando-me a aumentar os meus conhecimentos e incentivar a minha vontade de obter novos conhecimentos. O meu muito obrigada por toda a ajuda, pela disponibilidade na partilha dos seus conhecimentos.

À Doutora Violeta Ramos que se mostrou incansável como coorientadora, sempre disposta a ajudar e com uma palavra de incentivo pronta. Muito obrigada por toda a ajuda nesta dissertação e pelos conselhos para o futuro.

Ao projeto “NewOreS – Development of New Models for the génesis of Rare Metal (W, Nb, Ta, Li) Ore Deposits from the European Variscan Belt and valorization of low grade and fine grained ore and mine tailings” que possibilitou os estudos ao microscópio eletrónico de varrimento e á microsonda eletrónica.

À empresa Minerália – Mina, Geotecnia e Construções Lda, pelo acesso á mina e á sondagem sobre a qual esta dissertação versa.

À minha mãe, Isilda, pelo apoio incondicional, por todos os conselhos durante estes anos, por todo o apoio que me deu em todos os momentos desta jornada acreditando em mim e na minha capacidade.

A todos os meus amigos e colegas pelo apoio e ensinamentos em todos estes anos.

A todos os meus professores que fizeram de mim a estudante que sou hoje.

Resumo

O jazigo da Borralha foi explorado durante o século XX. Foi, durante muito tempo, uma das principais minas portuguesas e um dos maiores potenciadores económicos e sociais da região norte de Portugal com a produção de concentrados de tungsténio e sua transformação metalúrgica em ferro-tungsténio. Neste jazigo, o minério foi explorado a partir de filões quartzosos. Contudo, foram, também, reconhecidos dois corpos brechóides (brecha Santa Helena e a brecha Venise), tendo sido comprovada mineralização de tungsténio na brecha Santa Helena, que é aflorante, e que foi alvo de alguns trabalhos durante os anos 50 do século passado.

Esta dissertação tem como principal objetivo contribuir para o estudo da mineralogia da brecha Santa Helena tendo em vista a definição da tipologia da mineralização presente.

O estudo petrográfico detalhado de uma sondagem (Bo_8a/14) realizada para reconhecimento da brecha Santa Helena permitiu a identificação de minerais da classe dos tungstatos, sulfuretos, silicatos e fosfatos de terras raras distribuídos por três estágios de mineralização.

Este estudo permitiu a identificação de um primeiro estágio, caracterizado pela presença de cassiterite I, ilmenite e fosfatos de terras raras, que precedeu o estágio dos tungstatos, volframite e scheelite, e um estágio mais tardio representado pela presença de uma segunda geração de cassiterite e de volframite associadas a sulfuretos. Foi também identificado um óxido, rico em nióbio e tungsténio mineral este que ainda não tinha sido identificado neste jazigo. É de salientar a presença de dois tipos de esfalerite, uma rica em zinco e outra rica em cádmio, bem como a presença de biotite estável e albite também estável.

Estas mineralizações estão associadas a três estádios de alteração hidrotermal: moscovitização, sericitização e cloritização.

É de salientar que segundo a Comissão Europeia (Divisão de Empreendimento e Indústria, 2010), tanto o tungsténio como as terras raras são materiais críticos para a União Europeia e, por isso, a grande importância do reconhecimento de todo o potencial deste corpo brechóide, uma vez que poderá existir algum potencial presente que faça com que seja viável repensar todo o planeamento daquela zona.

Palavras – Chave:

Tungsténio, Borralha, brecha, alteração hidrotermal, mineralização

Abstract

The Borralha deposit was exploited during the 20th century. It was for a long period of time one of the main Portuguese mines and one of the biggest economic and social enablers of the northern region of Portugal with the production of tungsten concentrates. In this deposit, the ore was exploited from quartz veins. However, two brechoid bodies (Santa Helena breccia and the Venise breccia) were also recognized. And tungsten mineralization has been proven in Santa Helena breccia that is outcropping and has been the subject of some work during the 1950s.

This dissertation has as main objective to contribute to the study of the mineralogy of the Santa Helena breccia, in order to define the typology of the present mineralization.

The detailed petrographic study of a drill core (Bo_8a / 14) carried out to identify the breccia Santa Helena allowed the identification of tungstates, sulphide, silicate and phosphate with rare earths minerals distributed through three stages of mineralization.

This study allowed the identification of a first stage, characterized by the presence of cassiterite I, ilmenite and rare earth phosphates, which preceded the stage of tungstates, wolframite and scheelite, and a later stage represented by the presence of a second generation of cassiterite and wolframite associated with sulphides. It was also identified an oxide, rich in niobium and tungsten mineral that had not yet been identified in this deposit. It is worth noting the presence of two types of sphalerite, one rich in zinc and one rich in cadmium, as well as the presence of stable biotite and albite.

These mineralizations are associated to three stages of hydrothermal alteration: moscovitization, sericitization and chloritization.

It should be noted that according to the European Commission (Enterprise and Industry Division, 2010), both tungsten and rare earths are critical materials for the European Union and, therefore, the great importance of recognizing the full potential of this body breccia, since there may be some potential present that makes it possible to rethink all planning in that area.

Keywords:

Tungsten, Borralha, breccia, hydrothermal alteration, mineralization

Índice

Agradecimentos.....	7
Resumo.....	9
Abstract.....	11
Índice.....	13
Índice de tabelas.....	15
Índice de ilustrações.....	17
Lista de abreviaturas de minerais.....	23
Organização da dissertação.....	25
1. Introdução.....	29
1.2 Objetivos.....	33
1.3 Trabalhos anteriores.....	34
2. O jazigo de tungsténio da Borralha.....	39
2.1 Um pouco de história.....	39
2.2 Enquadramento Geográfico e Geotectónico.....	41
2.4 Estruturas mineralizadas do jazigo.....	50
2.4.1 Filões.....	50
2.4.2 Brechas.....	51
3. Caso de estudo: A brecha Santa Helena.....	55
3.1 Definição e classificação de brecha.....	55
3.2 Caracterização da brecha Santa Helena.....	55
3.3 Outro exemplo de jazigo com “breccia pipe”.....	57
3.3.1 Puy – les – Vignes (França).....	57
3.4 Materiais e Métodos.....	59
3.4.1 Materiais.....	59
3.4.1.1 Sondagem Bo_8a/14.....	59
3.4.2 Métodos de estudo.....	60
3.4.2.1 Análise macroscópica.....	60
3.4.2.2 Microscopia ótica.....	61
3.4.2.3 Microscopia eletrónica de varrimento.....	61
3.4.2.4 Microsonda eletrónica.....	62
4. Resultados.....	67
4.1 Sondagem.....	67

4.2 Estudo petrográfico completado por dados mineralógicos obtidos em microscopia eletrónica de varrimento e em microsonda eletrónica.....	82
4.2.3. Sequência de deposição mineral.....	125
4.3. Comparação dos estudos da Borralha.....	127
4.4. Comparação do estudo da Borralha com Puy-les-Vignes	128
5. Conclusões	131
Referências bibliográficas	135
Webgrafia.....	138

Índice de tabelas

Tabela 1 - Unidades geotectónicas Variscas.	43
Tabela 2 - Descrição das famílias de diáclases para a área de estudo (adaptado de Noronha, 1983).	50
Tabela 3 - Adaptação do log da sondagem efetuado em 2014 e fornecido pela empresa Minerália Minas e Geotécnica.	67
Tabela 4 - Análise à microsonda dos óxidos de titânio.	108
Tabela 5 - Análise à microsonda da scheelite.	109
Tabela 6 - Análise à microsonda da wolframite.	109
Tabela 7 (Cont.) - Análise à microsonda da wolframite.	110
Tabela 8 - Análise à microsonda de um mineral de nióbio e tungsténio.	116
Tabela 9 - Análise à microsonda de scheelite.	116
Tabela 10 (Cont.) - Análise à microsonda de scheelite.	117
Tabela 11 - Análise à microsonda da wolframite.	117
Tabela 12 (Cont.) - Análise à microsonda da wolframite.	118
Tabela 13 - Paragénese mineral da brecha Santa Helena.	126
Tabela 14 - Tabela de comparação dos diferentes estudos mineralógicos à Borralha.	127
Tabela 15 - Comparação entre o estudo a brecha Santa Helena com a brecha de Puy-les-Vignes.	128

Índice de ilustrações

Figura 1 - Tungsténio como matéria-prima crítica para a União Europeia (Adaptado de Comissão Europeia, Empreendimento e Indústria, 2010).	29
Figura 2 - Localização da mina da Borralha e da mina de Carris (adaptado de Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA, 2016).	33
Figura 3 - Couto Mineiro da Borralha (adaptado Noronha, 1983).	40
Figura 4 – Localização da área de estudo (adaptado de Turribarroso, 2016).	41
Figura 5 - Divisão da Europa (Ribeiro et al., 1979).....	42
Figura 6 - Unidades geotectónicas Variscas da Península Ibérica (adaptado de Vera, 2004).	44
Figura 7 - Zona Centro Ibérica e Zona Galiza-Trás-os-Montes e seus respetivos domínios (Ribeiro et al., 1990).	45
Figura 8 - Mapa da distribuição dos granitos Variscos (adaptado de Mateus e Noronha, 2001).	46
Figura 9 - Excerto dos Mapa Geológicos 1/50 000, Folhas 6A e 6C- (Folha 6A por Noronha et al., 1983 e a folha 6C por Ribeiro et al., 2000).	48
Figura 10 - Localização de Puy les Vignes (adaptado de Harlaux et al., 2015a).	58
Figura 11 - Sequência de deposição no jazigo de Puy-les-Vignes (Harlaux, 2015a). ..	59
Figura 12 – Mapa da brecha com implantação das sondagens perfil da sondagem em estudo.....	60
Figura 13 - Microscópio ótico polarizante do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território (DGAOT).	61
Figura 14 - Microscópio eletrónico de varrimento. CEMUP (retirado de www.cemup.up.pt a 16/5/2016).	62
Figura 15 - Microsonda eletrónica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.....	63
Figura 16 - Amostra AM1 onde se observa volframite grosseira e quartzo.....	70
Figura 17 - Amostra AM2 onde se observa um contato entre um elemento granito alterado e um elemento de metassedimento.....	71
Figura 18 - Amostra AM3 onde se observa uma rocha leucocrata e outro material mais rosáceo que corresponde à alteração da rocha negra.....	72
Figura 19 - Amostra AM4 onde se observa no quartzo a calcopirite e clorite, estando estes em contato com um elemento metassedimentar.....	73
Figura 20 - Amostra AM5. Nesta observa-se um elemento leucocrata em contato com quartzo onde se encontram elementos mais escuros.....	73
Figura 21 - Testemunho aos 92 m onde vemos elementos rochosos angulosos e um elemento xistoso de maiores dimensões.....	74
Figura 22 - Testemunho aos 94m onde é possível encontrar as variações de xistosidade entre elementos.....	75
Figura 23 - Testemunho aos 101,30 m nesta metragem existe um elemento granítico porfiróide com presença de um produto de alteração secundário em contacto com outra litologia mais acinzentada.....	75
Figura 24 - Testemunho aos 109 m. O granito presente não apresenta cisalhamento.....	76
Figura 25 - Amostra AM6 que demonstra um elemento granítico de grão médio em contato com outro elemento mais quartzo moscovítico.....	76
Figura 26 - Testemunho aos 114,5 m onde se observa o quartzo como cimento de diferentes elementos rochosos angulosos.....	77

Figura 27 - Amostra AM7 onde é possível ver um filonete de quartzo e volframite a cortar o elemento xistento.....	77
Figura 28 - Amostra AM8 apresenta uma litologia leucocrata de granulometria média a grosseira com uma ligeira oxidação e presença de minerais de cor escura.	78
Figura 29 - Amostra AM9 onde está presente um elemento de composição granítica. 79	
Figura 30 - Amostra AM10. Um aplito de granulometria grosseira que ao longo da amostra fica cada vez mais fina.....	79
Figura 31 - Amostra AM11. Uma rocha de granulometria fina com mineralização presente e visível a olho nu. Esta amostra encontra-se muito sericitizada.	80
Figura 32 - Amostra AM12 onde se observa quartzo com calcopirite e clorite.	81
Figura 33 - Amostra AM13 nesta, já fora da brecha, é possível observar granito ainda com efeitos de alteração hidrotermal.	81
Figura 34 – AM3: Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida em nicóis cruzados. Quartzo evidenciando diferentes fases de crescimento.....	82
Figura 35 - AM3: Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida em nicóis cruzados. Placas de moscovite sem alteração, fraturação ou deformação, tratando-se de moscovite magmática.	83
Figura 36 – AM6_A Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida em nicóis paralelos. Feldspato potássico instável em contato com quartzo. Nesta figura é possível observar a sericitização de feldspato magmático.....	84
Figura 37 – AM6_A Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida em nicóis cruzados. Plagioclase (albite) estável no bordo da lâmina em contato com quartzo.	84
Figura 38 – AM6_A Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida em nicóis paralelos. Zona de estudo ao microscópio eletrónico com quartzo, esfalerite, pirite e calcopirite.....	84
Figura 39 - Análise da esfalerite. A) imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida nicóis paralelos; B) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; C) espectro EDS confirmando que se trata da variedade de marmatite; D) espectro EDS confirmando a presença de calcopirite inclusa na marmatite.	85
Figura 40 – A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espectro EDS que confirma a apatite; C) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; D) Espectro EDS que confirma a presença de monazite; E) imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; F) Espectro EDS que confirma a presença de cassiterite.	86
Figura 41 - A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espectro EDS com sulfureto de prata e cobre; C) Espectro EDS com sulfureto de zinco e cádmio.	87
Figura 42 – Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis cruzados onde é possível observar o alinhamento de miscas num elemento xistento em contato com a matriz de sericite e quartzo.	88
Figura 43 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Cristais de calcopirite com alteração supergénica para covelite.....	88
Figura 44 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis cruzados Fragmento de rocha com quartzo, moscovite e sericite. Presença de epídoto.	89
Figura 45 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Associação de sulfuretos com quartzo e moscovite.	89
Figura 46 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Cristal alongado de volframite com cristais de pirite em espaços vazios encontra-se pirite.....	90

Figura 47 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Filonetes de pirite entre placas de moscovite.	90
Figura 48 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis paralelos. Biotite estável, embora nalguns cristais de biotite haja indícios de cloritização. Trata-se contudo de uma biotite hidrotermal.	91
Figura 49 - Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento. Volframite em palhetas analisada em MEV.	92
Figura 50 – A) Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos Mineral azulado. B) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; C) Espectro EDS identificando assim o mineral como ilmenite.	92
Figura 51 - Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento. Cristais de monazite no contato com cristal de biotite.	93
Figura 52 - Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento. Cristal zonado, com quatro orlas de crescimento.	93
Figura 53 – A) Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida em nicóis paralelos; B) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; C) Espectro EDS permitindo identificar como uraninite-thorianite.	94
Figura 54 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis paralelos, óxidos de ferro com produto amarelado, produto de alteração de feldspato potássico.	94
Figura 55 - Associação de sulfuretos (calcopirite, pirite, esfalerite) com quartzo. A) Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis paralelos; B) Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e em nicóis cruzados.	95
Figura 56 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis cruzados. Este cristal trata-se de um plano de corte perpendicular à estratificação da moscovite.	95
Figura 57 – A) Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Variação de composição no cristal de volframite com scheelite no seu interior. B) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; C) Espectro EDS de volframite; D) Espectro EDS de ferberite.	97
Figura 58 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Pirite a rodear um cristal de volframite.	97
Figura 59 – A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento. B) Espectro EDS que permite identificar um mineral de nióbio e tungsténio associado a volframite.	97
Figura 60 - Associação entre volframite, scheelite e mineral rico em nióbio e tungsténio. A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espectro EDS do mineral com nióbio e tungsténio; C) Espectro EDS de volframite; D) Espectro EDS de scheelite.	98
Figura 61 - Na apatite aparecem cristais de xenótimo e monazite. A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espectro EDS monazite; C) Espectro EDS de xenótimo; D) Espectro EDS de apatite.	99
Figura 62 - Presença de uraninite em apatite. A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espectro EDS mineral uraninite.	99
Figura 63 - Ilmenite nos bordos e a aproveitar as clivagens da biotite. A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espectro EDS do mineral com ilmenite; C) Espectro EDS de biotite.	100
Figura 64 - Moscovite e sericite. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis cruzados. Observam-se também alguns fosfatos.	101

Figura 65 - Clorite de alteração de biotite com presença de ilmenite. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.	101
Figura 66 - Apatite euédrica no quartzo. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis cruzados.	102
Figura 67 - Clorite com óxidos de ferro nos bordos. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.	102
Figura 68 - Biotite a alterar para clorite. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.	102
Figura 69 - Análise de secção ao microscópio eletrónico com resultados de moscovite, biotite, mica verde, pirite e mineral com tungsténio e titânio. A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS com pirite; C) Espetro EDS de um cristal de clorite; D) Espetro EDS de um cristal de biotite; E) Espetro EDS de um mineral com titânio e tungsténio; F) Espetro EDS com moscovite.	103
Figura 70 - Associação de óxidos de ferro e clorite. A) Imagem de microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS de óxidos de ferro; C) Espetro de EDS de um cristal de clorite.	104
Figura 71 - Presença de um estágio de óxidos, cassiterite, posterior aos sulfuretos com presença de galena e bismuto nativo. A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS de cristal de cassiterite; C) Espetro EDS de bismuto nativo; C) Espetro EDS de cristal de galena.....	105
Figura 72 - Cristais de monazite e fosfato com tório e urânio. A) Imagem obtida em microscopia eletrónica de varrimento; B) Espetro EDS de um cristal de monazite; C) Espetro EDS de um cristal de fosfato de tório e urânio.	106
Figura 73 - Secção da lâmia onde aparece ferberite, scheelite, volframite e mineral com tungsténio, nióbio e titânio. A) Imagem obtida em microscopia eletrónica de varrimento; B) Imagem obtida em microscopia eletrónica de varrimento; C) Espetro EDS de um cristal de volframite; D) Espetro EDS de um cristal de volframite; E) Espetro EDS de um cristal de scheelite; F) Espetro EDS de um cristal de um mineral de nióbio e tungsténio.....	107
Figura 74 - Pirite a envolver a volframite. Imagem obtida em microscópio ótico polarizante em luz refletida e em nicóis paralelos.	110
Figura 75 - Volframite associada a scheelite, moscovite e clorite. Imagem obtida ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.	112
Figura 76 - Alternâncias entre moscovite e clorite em contato com a volframite. Imagem obtida em microscópio ótico polarizante, em luz transmitida e em nicóis paralelos.	112
Figura 77 - Associação volframite e scheelite. Imagem obtida em microscópio ótico polarizante, em luz transmitida e em nicóis paralelos.	112
Figura 78 – Volframite e scheelite, e mineral com tungsténio e nióbio. A) Imagem obtida em microscopia eletrónica de varrimento; B) Espetro EDS de um cristal de volframite; C) Espetro EDS de um cristal de scheelite; D) Espetro EDS de um cristal de volframite.	113
Figura 79 - Mineral com nióbio e titânio e tungsténio com zonamento. A) Imagem obtida em microscopia eletrónica de varrimento; B) Imagem obtida em microscopia eletrónica de varrimento; C) Espetro EDS da zona Z3a, zona do núcleo do cristal; D) Espetro EDS da zona Z3b, zona dos bordos do cristal.....	114
Figura 80 - Apatite com zircão e moscovite. A) Imagem em microscopia eletrónica de varrimento; B) Imagem em microscopia eletrónica de varrimento; C) Espetro de EDS de um cristal de apatite; D) Espetro EDS de um cristal de zircão; E) Espetro EDS de um cristal de moscovite.	115

Figura 81 - Volframite com scheelite nos bordos e clorite próxima. Imagem obtida em microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.	120
Figura 82 - Albite estável. Imagem obtida em microscopia ótica polarizante em luz transmitida e em nicóis cruzados.....	120
Figura 83 - Associação de volframite e scheelite. A) Imagem obtida em microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos; B) Imagem em microscopia eletrónica de varrimento; C) Espetro EDS de um cristal de scheelite; D) Espetro EDS de um cristal de volframite.	121
Figura 84 – Galena. A) Imagem obtida em microscópio ótico polarizante em luz refletida e em nicóis paralelos; B) Imagem obtida em microscopia eletrónica de varrimento; C) Espetro EDS de um cristal de galena.	122
Figura 85 - Monazite presente na volframite e scheelite. A) Imagem obtida em microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS de um cristal de scheelite; C) Espetro EDS de um cristal de volframite; D) Espetro EDS de um cristal de monazite.	123
Figura 86 - Cristal de columbite. A) Imagem obtida em microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS de um cristal de columbite.	123
Figura 87 - Cristais de volframite rodeados por scheelite sendo que esta tem no contato clorite e sericite. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.	124
Figura 88 - Volframite e scheelite com clorite e sericite. Imagem ao microscópio ótico polarizante de luz transmitida e em nicóis paralelos.	124
Figura 89 - Apatite no quartzo. Imagem obtida em microscópio ótico polarizante em luz refletida e em nicóis paralelos.	124

Lista de abreviaturas de minerais

segundo Whitney e Evans (2010)

Ap – apatite

Bt – biotite

Ccp – calcopirite

Chl – clorite

Cst – cassiterite

Cv – covelite

Gn – galena

Ilm – ilmenite

K-fs – feldspato potássico

Ms – moscovite

Mnz - monazite

Pl – plagioclase

Py – pirite

Qz – quartzo

Sch – scheelite

Ser – sericite

Sp – esfalerite

Wolf – volframite

Xtm – xenótimo

Zrn – zircão

Organização da dissertação

Esta dissertação é composta por 6 capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução
- Capítulo 2 – O jazigo da Borralha
- Capítulo 3 – Caso de estudo: A brecha Santa Helena
- Capítulo 4 – Materiais e Métodos
- Capítulo 5 – Resultados e Discussão
- Capítulo 6 – Conclusões

No Capítulo 1 é feita uma introdução à temática abordada na dissertação, uma pequena descrição dos objetivos e uma descrição dos trabalhos anteriores realizados sobre o jazigo de W da Borralha.

No Capítulo 2 é elaborado o reconhecimento histórico do jazigo, a contextualização geográfica e geotectónica do mesmo, bem como o enquadramento geológico da área do Couto Mineiro da Borralha bem como a sua envolvente, além da descrição das estruturas mineralizadas identificadas.

O Capítulo 3 apresenta o caso de estudo, a estrutura brechóide sobre a qual versam os estudos descritos nesta dissertação. São, também, dados a conhecer outros exemplos de jazigos do tipo “Breccia Pipe”.

O Capítulo 4 consiste na descrição da sondagem em estudo, bem como na descrição dos métodos de estudos aplicados.

O Capítulo 5 apresentam-se os resultados mais relevantes do estudo e resulta na apresentação dos dados resultantes do estudo da sondagem Bo_8a/14.

O Capítulo 6 apresenta todas as conclusões que o capítulo 5 permite retirar, bem como reflexões sobre possíveis futuros trabalhos.

De seguida, apresentam-se todas as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

Por fim, são apresentados em anexo as tabelas de comparação entre os diferentes estudos realizados à Borralha e a tabela de comparação entre o jazigo da Borralha e o jazigo de Puy-les-Vignes.

Capítulo 1 - Introdução

1. Introdução

1.1 Temática

O caso de estudo desta dissertação versa sobre a brecha Santa Helena, uma das estruturas mineralizadas do jazigo tungstífero da Borralha. Este foi no século XX uma importante fonte de rendimento no norte do país. A sua localização e a complexidade da sua génese gerou um grande interesse geológico e mineiro que perdura até aos dias de hoje, embora a mina tenha sido encerrada em 1986. O local é de elevado interesse, pois o tungsténio é uma das matérias-primas críticas para a União Europeia (Fig. 1) (Comissão Europeia, Empreendimento e Indústria, 2010). Assim, é de extrema importância o reconhecimento das reservas de tungsténio na Europa, bem como a forma de ocorrência dos seus minérios.

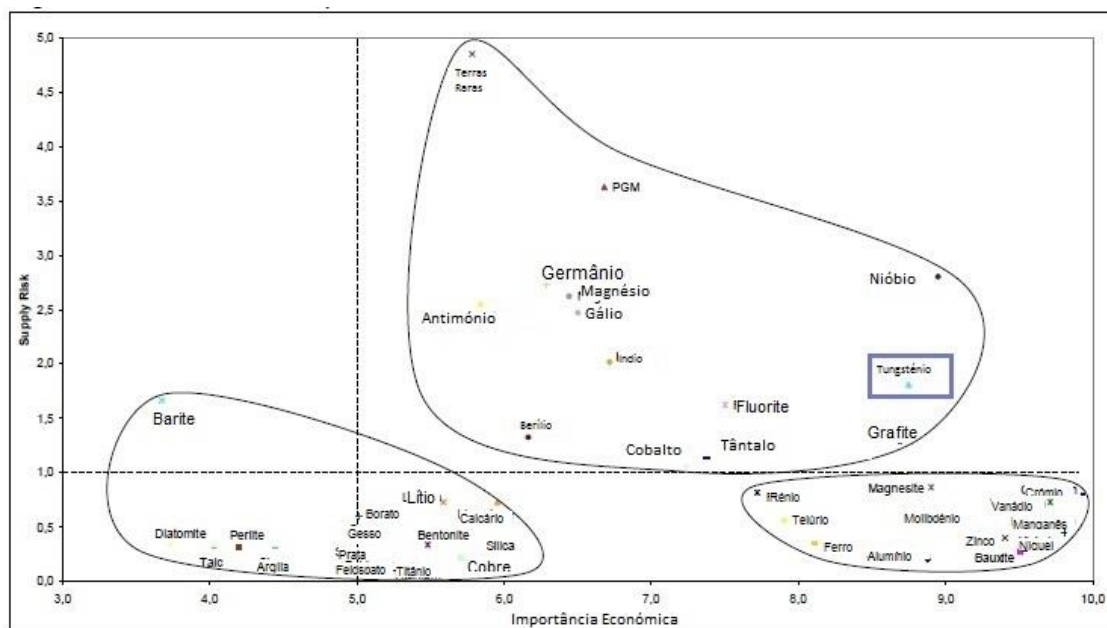


Figura 1 - Tungsténio como matéria-prima crítica para a União Europeia (Adaptado de Comissão Europeia, Empreendimento e Indústria, 2010).

O tungsténio é um elemento bastante denso, com propriedades únicas que tornam impossível a sua substituição em determinadas aplicações industriais. Entre estas propriedades encontram-se (BGS, 2011):

- ponto de fusão elevado;
- elevada resistência à tração para temperaturas superiores a 1650°C;
- menor coeficiente de expansão entre todos os metais puros;
- elevada densidade;

- alta condutividade térmica;
- alta condutividade elétrica.

Como metal do grupo de transição, possui estados de oxidação do +6 ao -2, ocorrendo naturalmente em cinco isótopos. Estes têm períodos de semi-vida tão longos que, por isso, são considerados estáveis.

Sendo que o tungsténio não ocorre naturalmente como metal puro, são os monotungstatos (minerais de tungsténio, pertencentes à classe dos volframatos – molibdenatos e à classe dos volframatos hidratados) os mais importantes: a scheelite (CaWO_4), a stolzite (PbWO_4) e a volframite ($(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$). O principal sulfureto de tungsténio é a tungstenite (WS_2).

A volframite representa uma série isomorfa que possui como termos extremos: a ferberite (FeWO_4), no extremo mais ferrífero, e no outro extremo da série a hübnerite (MnWO_4), o membro mais manganésiano. A volframite refere-se ao termo intermédio desta série.

Aparecem, muitas vezes, associados à volframite minerais de cobre, estanho, molibdénio, bismuto, ouro e complexos com urânio, tório, fosfatos e óxidos com terras raras, também estes de elevado interesse económico (BGS, 2011).

Rudnick et al. (2003) indica que na crosta superior existe em média 1,9 ppm de tungsténio (número de Clark). Para a crosta média e inferior existe em média 0,6 ppm de tungsténio em ambas, o que corresponde a uma média de 1ppm no total da crosta terrestre.

Os depósitos de tungsténio estão, normalmente, nas proximidades ou mesmo inseridos em arcos orogénicos, em locais de subducção ou relacionados com colisão de placas tectónicas.

Quanto aos tipos de depósito em que o tungsténio pode ocorrer, sabe-se que na sua maioria estão associados a intrusões graníticas ou a rochas metamórficas de médio a alto grau. Os depósitos associados a intrusões graníticas podem ser divididos em dois grupos (BGS,2011):

- os que estão associados a granitos do tipo I, típicos de arcos vulcânicos continentais acima de zonas de subducção;
- e os que estão associados a granitos do tipo S, ricos em alumina, correspondendo a intrusões na fase final de colisão de placas continentais,

e a granitos derivados do tipo A ou ricos em álcalis, derivados do manto instalados em grandes extensões na crosta terrestre.

Os maiores depósitos de tungsténio, associados a arcos orogénicos, localizam-se nos locais abaixo listados:

- Extremo Oriente (sul da China, Coreia do Norte, Coreia do Sul, Japão, Tailândia e Burma), parte asiática do sul da Sibéria, Cazaquistão, Uzbequistão e Quirguistão;
- zona da costa leste da Austrália e no cinturão Alpino de França até à Turquia;
- Cordilheira ocidental das Américas (Montanhas Rochosas e Andes);
- Arco Circum-Pacífico: Canadá, EUA, Bolívia e Perú;
- oeste europeu, mas cadeias do orógeno Varisco: da Alemanha, República Checa até França, do sudoeste de Inglaterra até Espanha e Portugal.

No Brasil, compreendendo os estados do Rio Grande do Norte, Rondônia e São Paulo, e em África, no Ruanda, Uganda e República Democrática do Congo, os depósitos de tungsténio estão associados a contextos tectónicos de rift.

No entanto, segundo Werner et al. (2014), os jazigos de tungsténio não ocorrem todos com a mesma forma e nem são do mesmo tipo ou contexto geológico e tectónico, podendo ser do tipo:

- filoniano;
- stockwork;
- skarn;
- pórfiro;
- stratabound;
- e contendo menores quantidades de minério:
 - disseminado;
 - pegmatítico;
 - brecha;
 - placer.

Os processos hidrotermais são fundamentais para a maioria destes depósitos, quer na complexidade da sua mineralogia, quer na condicionante da sua morfologia (BGS, 2011).

No presente caso de estudo estamos perante um depósito do tipo filoniano com duas estruturas brechóides, e como tal, estes serão os tipos de jazigos a analisar.

Um depósito do tipo filoniano caracteriza-se por: fissuras simples a complexas ou forma-se a partir da substituição dos veios de quartzo, geralmente próximos ou contidos em intrusões graníticas e são, na sua maioria, posteriores à instalação e cristalização da rocha granitóide. A mineralogia dos filões pode ser simples, contendo apenas quartzo e volframite, ou, então, muito complexa contendo alguns jazigos mais de cinquenta minerais identificados como, por exemplo, no jazigo da Panasqueira em Portugal.

As mineralizações localizadas em estruturas do tipo “breccia pipe”, são, normalmente, estruturas muito próximas da vertical, com forma cilíndrica, ovóide, ou, por vezes, com forma bulbosa. Encontram-se, geralmente, próximas da zona de intrusão, e localizadas em zonas de intersecção de sistemas de fraturas. Os depósitos “breccia pipe” são, de forma geral, de pequena dimensão, e na sua maioria com padrões de alteração hidrotermal distintos.

O jazigo de tungsténio da Borralha é, desde o seu reconhecimento, de elevado interesse geológico e económico. Foi, durante o tempo de exploração, uma das principais minas portuguesas sendo apenas superada pela mina da Panasqueira, a qual se encontra ainda hoje em laboração.

O jazigo encontra-se encaixado em rochas graníticas de diferentes tipos e em formações metassedimentares de idade Silúrica (Noronha et al., 2006) e localiza-se no limite entre a Zona Centro Ibérica e a Zona Galiza-Trás-os-Montes. O jazigo pertence ao que é atualmente definido como a “Província Metalogénica Sn-W Ibérica” (Neiva, 1944 e Thadeu, 1977), que abrange grande parte do noroeste da Península Ibérica.

Segundo Neiva (2002), a maioria dos depósitos de tungsténio estão espacialmente associados a granitos tipo S e consistem em filões de quartzo com mineralização em tungsténio e estanho.

Segundo Noronha et al. (2006) as mineralizações de volframite e/ou scheelite podem ocorrer em diferentes contextos tais como:

- espacialmente associados a maciços granitóides biotíticos, sintectónicos;
- associados espacialmente a maciços de granito de duas micas;
- ou ainda, como é o caso da Borralha e Carris (Fig. 2), espacialmente associados a granitos pós-tectónicos.

Enquanto na mina de Carris foram produzidos concentrados de volframite, cassiterite e molibdenite (Moura et al., 2013), na mina da Borralha foram produzidos concentrados

de volframite, scheelite e calcopirite, sendo que a estes últimos estão frequentemente associados prata, bismuto e molibdénio (Noronha, 1983).



Figura 2 - Localização da mina da Borralha e da mina de Carris (adaptado de Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA, 2016).

No jazigo da Borralha foram descritos por Noronha (1983) dois grupos de estruturas mineralizadas: um conjunto filoniano quartzoso, e duas brechas (estruturas do tipo “breccia pipe”). Estas brechas foram classificadas como brechas de colapso com blocos de quartzo, xisto e granito, entre outras litologias cimentados por quartzo. Durante a exploração subterrânea que chegou a atingir a profundidade de 210m abaixo do nível 0 (nível do rio Borralha à cota 772m), foram explorados filões sub-horizontais e verticais e a brecha Santa Helena. Foi contudo, sobre os filões verticais que incidiu a maioria da exploração, uma vez que eram os mais conhecidos e estudados, enquanto os filões sub-horizontais foram explorados principalmente nos níveis mais superficiais.

1.2 Objetivos

A dissertação tem como objetivo o estudo da brecha Santa Helena, importante estrutura geológica mineralizada pertencente ao jazigo da Borralha, no Norte de Portugal.

Realiza-se o reconhecimento da mineralogia presente na referida brecha e estuda-se o seu potencial económico, recorrendo, a uma das sondagens realizadas em 2014 numa

campanha de prospeção a este jazigo pelas empresas Minerália Minas, Geotécnia e Construções Lda e Blackheath Resources Inc, atuais detentoras dos direitos de concessão do jazigo. Esta sondagem (Bo_8a/14), com 185 m de extensão, azimute N107°E e inclinação 63°, foi realizada na zona sul da brecha e atravessa toda a estrutura brechóide, o que permite um estudo pormenorizado da mesma. Da sondagem foram retiradas treze amostras representativas e nas quais incide o estudo petrográfico.

Assim, recorrendo à sondagem Bo_8a/14, que atravessa toda a estrutura brechóide, pretende-se:

- reconhecer as litologias presentes;
- caraterizar as mineralizações;
- interpretar paragénese;
- identificar alterações hidrotermais e supergénicas;
- estabelecer uma sequência de deposição mineralógica para o local em estudo.

Também o reconhecimento de possíveis subprodutos, bem como de minerais que são prejudiciais é importante para o processo de processamento de minérios. O aumento do conhecimento acerca desta estrutura apresenta-se como a grande finalidade desta investigação.

1.3 Trabalhos anteriores

Apesar do elevado interesse no jazigo tungstífero da Borralha, não existem muitos trabalhos sobre o mesmo. Ao iniciar esta dissertação é necessário referenciar os trabalhos anteriores publicados sobre o mesmo jazigo e que foram fundamentais a realização desta monografia.

São, assim, de grande importância os seguintes trabalhos:

De 1957, os relatórios geológicos não publicados de Ferro que são fundamentais uma vez que, descrevem locais da mina que hoje são inacessíveis.

De 1971, a publicação de Conde et al., sendo este o primeiro trabalho geológico sobre a área e que contemplava algumas considerações metalogénicas, fazendo este trabalho parte do livro guia das excursões do 1º Congresso Hispano-Luso Americano de Geologia Económica (I CHLAGE).

De 1972 existem, também, outros relatórios geológicos apresentados por Bonnici, Prouhet e Bonnici, e por Gaillard, embora se tratem de relatórios sobre temas mais específicos.

Em 1976 e 1978a e b, Amossé foi responsável pela análise físico-química das volframites e a aplicação da distribuição zonal das mesmas no jazigo.

Em 1982, Neiva elabora a partir da geoquímica das moscovites propondo algumas considerações sobre as condições físico-químicas da génese do jazigo da Borralha.

São de referir os trabalhos de Noronha: de 1974, onde realiza o estudo de inclusões fluídas no quartzo dos filões; de 1976 estudo dos níveis com scheelite e a sua importância metalogénica; considerações acerca do jazigo Noronha et al. (1979); de 1979 classificação das brechas presentes no jazigo; de 1982 estudo das rochas graníticas Gerês – Barroso – Cabreira e relações com mineralizações de Sn e W-Mo; de 1983, tese de doutoramento, onde é feito o estudo metalogénico do jazigo tungstífero da Borralha.

Mais recentemente, Lima (2015), apresenta o seu relatório de estágio onde faz algumas considerações sobre a brecha Santa Helena, nomeadamente sobre a mineralogia e morfologia da mesma, tendo por base o estudo de uma sondagem, Bo_5, pertencente ao mesmo trabalho de prospeção que a sondagem em estudo nesta dissertação.

Capítulo 2 – O jazigo de W da Borralha

2. O jazigo de tungsténio da Borralha

2.1 Um pouco de história

Segundo Noronha (1983), em 1902 é concedida por decreto real a concessão à “Compagnie des mines d’étain et de wolfram” com as propriedades Borralha, Monte Borralha n.º 1 e Monte Borralha n.º 2. Em 1926 passou a ser denominado por Couto Mineiro da Borralha e compreendia à data 36 concessões com uma área de cerca de 1179 ha. O couto mineiro sofreu aumentos sucessivos até 1953 por agregação de novas concessões.

Nunes (2010) descreve que a Borralha foi em tempos local de pastoreio para a população local. A descoberta do jazigo deveu-se, então, a um dos filhos do moleiro “Borralha” que foi trabalhar para as minas do Coalhoso em Bragança onde era extraído tungsténio, e ao ver as “pedras” explicou que na sua terra estas eram utilizadas pelos pastores que as atiravam às cabras. Foi, então, que um funcionário desta mina se deslocou ao local e, ao verificar que eram de facto as mesmas pedras, o registou em nome da empresa “Compagnie des mines d’étain et de wolfram”.

Em 1962, tudo o que pertencia ao Couto Mineiro da Borralha transitou para a empresa “Mines de Borralha, S.A.” e em junho de 1968 foram cedidas mais 14 concessões. Assim, passou a ter 52 concessões e uma área de 2611 ha.

Em 1980, transitou para a empresa de capitais anglo-americanos “Minas da Borralha, SARL” que foi a sua detentora até ao encerramento em 1986.

A laboração ocorreu então de 1903 a 1985, encerrando em 1986. Existiram, porém, duas paragens na exploração da mina: uma de 1944 a meados de 1946 por imperativos legais e outra de 1958 a finais de 1962.

Na data em que encerra, a empresa era, então, detentora de 52 concessões (Fig.3) sendo elas:

- 28 de tungsténio;
- 12 de tungsténio e estanho;
- 10 de estanho;
- 2 tungsténio, cobre, prata e molibdenite.

Nestas concessões estavam presentes tanto as estruturas filonianas como as duas estruturas brechóides, sendo que das brechas apenas a Santa Helena foi alvo de trabalhos em meados da década de 50 do século passado por ser aflorante.

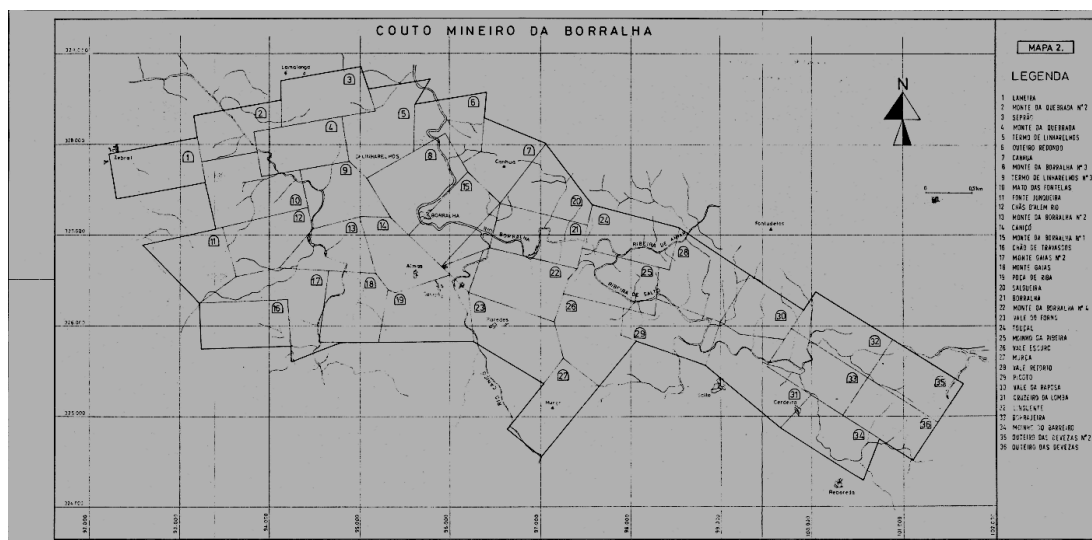


Figura 3 - Couto Mineiro da Borralha (adaptado Noronha, 1983).

A mina da Borralha foi extremamente valorizada devido às diversas guerras que decorreram durante o século XX em que a procura por tungsténio era intensa.

Em 2014 foi realizada uma campanha de prospeção à brecha Santa Helena levada a cabo pelas empresas Minerália – Minas Geotécnica e Construções, Lda. e Blackheath Resources Inc.

É de salientar, e de modo a confirmar a sua importância na economia do país, que durante a exploração, esta mina produziu cerca de 18500 t de concentrados de volframite e scheelite, não incluindo estes dados a atividade dos “apanhistas” (recolha ilegal de minério para posterior venda), que se estima que seja da ordem das 44 t. Acrescenta ainda a esta produção as cerca de 524 t extraídas da brecha Santa Helena. De 1975 a 1980, a produção de concentrados de volframite e scheelite rondou as 1817 t, e a produção de concentrados de calcopirite rondou as 1712 t (Noronha, 1983). De forma a valorizar ainda mais os concentrados de tungsténio, a Borralha foi a única mina a transformar os concentrados deste metal em concentrados de ferro-tungsténio (Sousa, 2010).

2.2 Enquadramento Geográfico e Geotectónico

O Couto Mineiro das Minas da Borralha, localiza-se no norte de Portugal, no limite entre a região do Minho e a região de Trás-os-Montes, mais propriamente, na freguesia de Salto, na área a sul do concelho de Montalegre, distrito de Vila Real (Fig. 4). A área de estudo encontra-se limitada pelas serras do Gerês e da Cabreira e pelo rio Rabagão, o que confere à área com uma topografia muito acidentada, onde as linhas de água se encontram cavadas.

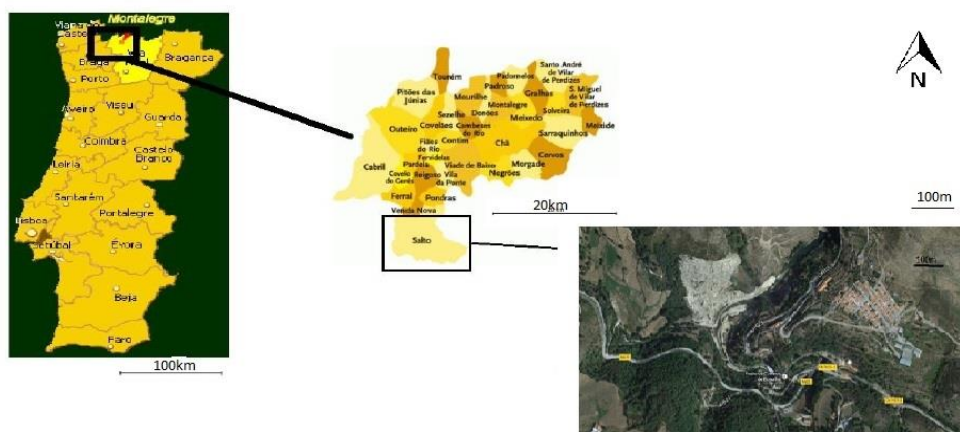


Figura 4 – Localização da área de estudo (adaptado de Turribarroso, 2016).

O jazigo de tungsténio da Borralha está inserido no que foi definido por Neiva (1944) e Thadeu (1977) como a “Província Metalogénica Estano-Tungstífera Ibérica”.

O Couto Mineiro das Minas da Borralha está localizado, a nível geológico, no limite entre a Zona Galiza-Trás-os-Montes e a Zona Centro Ibérica.

De modo a compreender a génese desta estrutura e os mecanismos que presidiram à instalação do jazigo é crucial iniciar com uma contextualização geológica e tectónica da Europa, com maior pormenor na Península Ibérica, mais concretamente no norte de Portugal continental.

As unidades tectónicas que compõem a Europa são resultado de diferentes ciclos orogénicos aos quais os terrenos que a constituem estiveram sujeitos. É possível dividir assim o continente europeu atual em quatro grupos de terrenos que o compõe (Fig. 5) tendo em conta as orogenias que a marcam:

- a Eo-Europa, de idade Pré-Câmbrica, a que correspondem as formações mais antigas, marca a orogenia Caledónica e Jacónica;

- a Paleo-Europa, a que correspondem as formações originadas pela orogenia Caledónica que se sobrepõe às formações do velho continente;
- a Meso-Europa, com formações que datam desde o Câmbrio ao Carbonífero, foram originadas pela orogenia Hercínica (ou Varisca);
- a Neo-Europa, corresponde às formações de idade Mesozóica, originadas pela orogenia Alpina.



Figura 5 - Divisão da Europa (Ribeiro et al., 1979).

A colisão de duas massas continentais, a Laurentia e a Báltica, origina o fragmento mais antigo do continente europeu, a Eo-Europa. Das orogenias Cadomiana e Acadiana, que ocorreram à 390 Ma, no Devónico Inferior, resulta a formação do continente Laurásia (proveniente da colisão e união dos continentes Laurentia e Báltica). A orogenia Hercínica (ou Varisca), que se encontra limitada entre os 390 Ma e os 290 Ma, ocorreu devido à colisão de duas massas continentais a Laurásia e o Gondwana, provocando o fecho do oceano Rheic. Com a colisão das duas massas continentais (Laurásia e Gondwana) forma-se o supercontinente Pangea.

É durante o Carbónico Inferior que a colisão dos continentes Laurásia e Gondwana dá origem a uma estrutura, fundamental da orogenia Varisca, o arco Ibero-Armonicano.

Para esta dissertação é fundamental compreender a Europa Varisca, onde está localizada a área de estudo. A Europa Varisca resultou, em larga escala, de um empilhamento de “nappes” crustais carreadas, apresentando as características

fundamentais de uma tectónica de colisão, sendo o magmatismo uma consequência direta (na maioria das vezes) do espessamento crustal.

A cintura Varisca é formada por diferentes unidades geotectónicas conforme se pode observar na Tabela 1.

Tabela 1 - Unidades geotectónicas Variscas.

Unidades geotectónicas Variscas na Europa	
Península Ibérica	Zona Cantábrica
	Zona Astúrico-Leonesa
	Zona Galiza-Trás-os-Montes
	Zona Centro Ibérica
	Zona Ossa Morena
	Zona Sul Portuguesa
França	Maciço Central
	Maciço Armoricano
Reino Unido	Maciço Londen Brabant
Alemanha	Zona Renohercínica
	Zona Saxo-Turingica
República Checa	Zona Moidanubiana
	Zona Moravasivésica

Portugal, do ponto de vista geológico, é constituído três unidades fundamentais:

- formações antigas, incluindo estas os terrenos Ante-Mesozóicos;
- formações Mesozóicas e Cenozóicas;
- formações modernas de cobertura, tais como as da bacia do Tejo e do Sado.

Do ponto de vista geotectónico é constituído fundamentalmente por duas unidades:

- maciço Hespérico – zona poente que corresponde à unidade Varisca;
- orlas Meso-Cenozóicas.

A cadeia Varisca, na Península Ibérica, é composta por diferentes zonas geotectónicas, definidas pela primeira vez por Lotze (1945). As zonas geotectónicas apresentam uma tendência E-W, e que se distinguem por possuírem características específicas tais como plutonismo, metamorfismo, tectónica e paleogeografia.

Segundo, Matte e Ribeiro (1975), Dias e Ribeiro (1995) as zonas geotectónicas (Fig. 6) que formam a Península Ibérica são:

- Zona Cantábrica;

- Zona Astúrico-Leonesa;
- Zona Galiza – Trás-os-Montes;
- Zona Centro Ibérica;
- Zona Ossa Morena;
- Zona Sul Portuguesa.

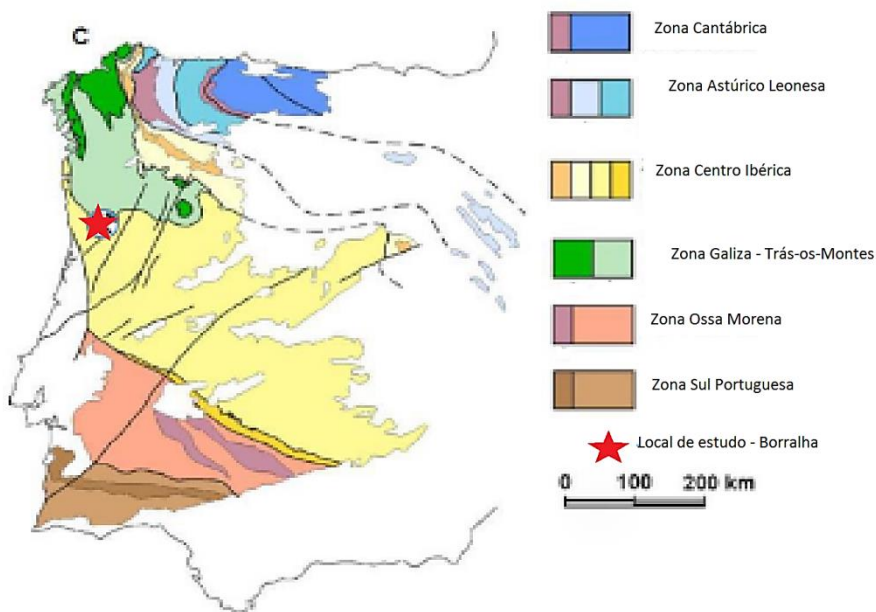


Figura 6 - Unidades geotectónicas Variscas da Península Ibérica (adaptado de Vera, 2004).

A deformação da Zona Centro Ibérica e da Zona Galiza-Trás-os-Montes ocorre como consequência da orogenia Varisca e é devida à atuação de três fases de deformação D1, D2 e D3 (Ribeiro, 1974, Noronha et al., 1979). Para estas zonas é de salientar a sobreposição com eventos de magmatismo e de metamorfismo de médio a alto grau. Sendo que o jazigo da Borralha está inserido no limite entre a Zona Centro Ibérica e a Zona Galiza – Trás-os-Montes.

Um dos principais critérios diferenciadores da Zona Galiza-Trás-os-Montes é a sobreposição de terrenos alóctones aos para autóctones por carreamentos (Ribeiro et al., 1990).

A separação entre a Zona Centro Ibérica e a Zona Galiza-Trás-os-Montes é marcada por um grande carreamento (Fig. 7).

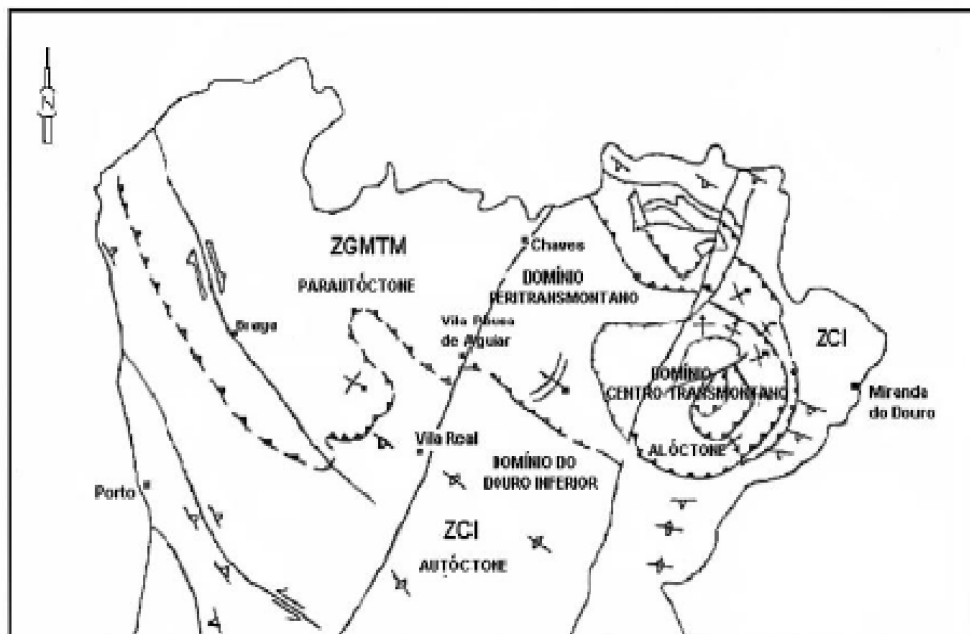


Figura 7 - Zona Centro Ibérica e Zona Galiza-Trás-os-Montes e seus respectivos domínios (Ribeiro et al., 1990).

A fraturação ocorre num período tardi a pós-D3.

Ainda é de notar a simultaneidade de eventos magmáticos e metamórficos de médio a alto grau na Zona Centro Ibérica e na Zona Galiza-Trás-os-Montes. Estes acontecimentos permitiram a génese de magmas graníticos de anatexia crustal condicionados por estruturas D3 (Dias e Ribeiro, 1995). Como tal devemos lembrar a sua classificação.

No Noroeste da Península Ibérica é possível classificar os granitos Variscos (Fig. 8) por diversos critérios, tais como:

- Geocronológicos
 - Oldest
 - Older
 - Younger
- Químico-petrográficos
 - Duas micas (peraluminosos)
 - Biotíticos
- Tectónicos
 - Sintectónicos
 - Tarditectónicos
 - Pós-tectónicos

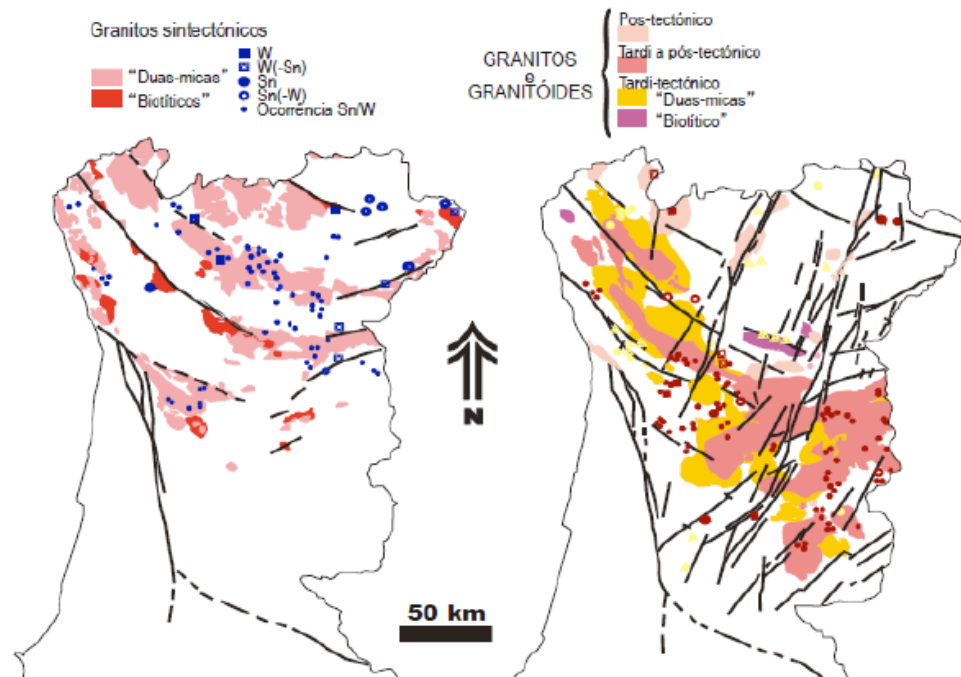


Figura 8 - Mapa da distribuição dos granitos Variscos (adaptado de Mateus e Noronha, 2001).

2.3 Enquadramento Geológico

O jazigo da Borralha fica situado no contacto entre formações metassedimentares e granitos Variscos.

Segundo M. A. Ribeiro et al. (2000), nos metassedimentos é possível distinguir três unidades silúricas inseridas nos terrenos parautoctones da Zona Galiza-Trás-os-Montes:

- uma unidade do xisto negro, pertencente ao Wenloquiano, com níveis de liditos e ampelitos com intercalações de quartzofilitos e quartzitos, bem como de rochas calcossilicatadas. As rochas calcossilicatadas apresentam natureza pelítica e psamítica. Sendo assim, a unidade é constituída por filitos e micaxistos intercalados com rochas mais ricas em matéria orgânica, como xisto negro;
- outra unidade apresenta os mesmos tipos litológicos que a anterior com a diferença de que esta possui litologias mais siliciosas, nesta ocorrem xistos pelíticos e quartzofilitos intercalados com liditos, quartzitos, rochas calcossilicatadas e ampelitos. Nesta unidade não há tanta abundância de rochas ricas em matéria orgânica. É de notar ainda a presença de micaxistos quartzosos normalmente associados a quartzofilitos e quartzitos;

- uma unidade mais recente pertence ao Ludloviano com xistos pelíticos e metagrauvaques com intercalações de litologias como vulcanitos ácidos, rochas calcossilicatadas e, por vezes, lilitos.

Quanto aos granitóides presentes na área de estudo, segundo Noronha e Ribeiro (1983), podem ser divididos em dois grupos: os sintectónicos (sin-D3) e os pós-tectónicos. Os sin-D3 podem ainda ser divididos em granitos de duas micas e granitos biotíticos.

Os granitos de duas micas estão por exemplo representados pelos granitos de Murça, da serra da Cabreira. Os granitos biotíticos são representados pelo granito sintectónico da Borralha e o pelo granito pós-tectónico do Gerês.

O granito da Borralha estende-se numa faixa desde as minas da Borralha até ao maciço do Gerês. Este granito apresenta uma granularidade grosseira a média, tratando-se de um granito porfiróide com megacristais orientados. Está ainda identificado um tonalito biotítico, apresentando uma cor escura pela abundância em biotite, sendo esta a litologia referida na mina como rocha negra, tendo esta litologia uma granularidade média a fina.

Existe um granito leucocrata pós-tectónico, o granito de Penedos que se localiza a 1,5 km a NW da mina da Borralha sendo este intrusivo no granito da Borralha. O granito de Penedos possui uma fácies homogénea de grão médio a grosseiro, sendo a sua principal característica de distinção a presença de quartzo globular e de granadas visíveis macroscopicamente.

A partir da cartografia da área da mina e do acompanhamento dos trabalhos subterrâneos Noronha (1983) definiu uma zonalidade nas litologias presentes. A SW corresponde uma zona essencialmente granítica, denominada de zona do granito franco. Mais a NE existe uma zona constituída maioritariamente por micaxisto, a zona xistenta, no setor mais a NE desta zona ocorrem rochas ricas em quartzo com abundantes leitos micáceos que conferem um aspeto listrado à rocha – xistos quartzíticos. Entre estas duas zonas de litologias distintas encontra-se uma zona caracterizada por uma rocha de cor escura devido à abundância em biotite, denominada por zona rocha negra, estando esta em contato direto com a zona do granito franco. Entre a zona da rocha negra e a zona xistenta é possível observar ainda outra subdivisão em duas zonas: uma zona de mistura, com grandes painéis lenticulares de rochas metassedimentares que alternam com rocha granítica e granitóide; e outra em que há uma grande abundância em granito da Borralha com painéis de pequena dimensão de micaxisto.

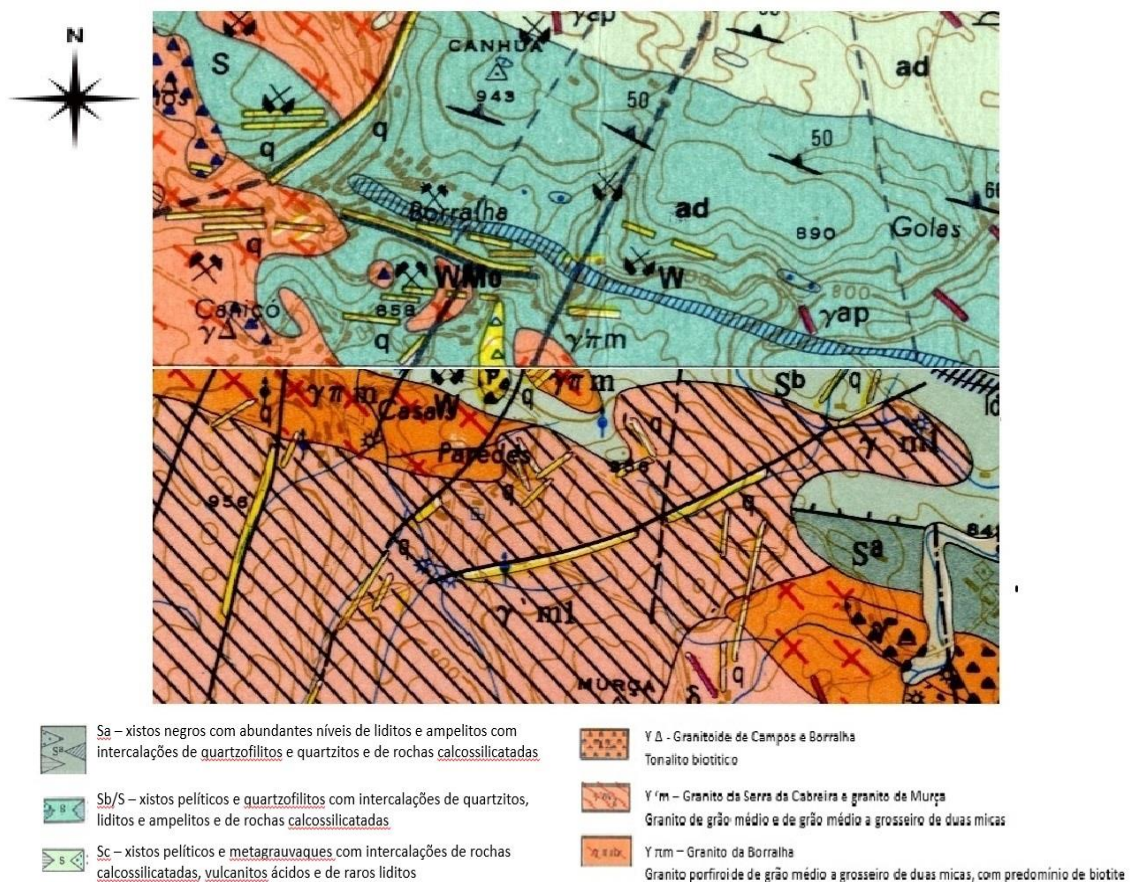


Figura 9 - Excerto dos Mapa Geológicos 1/50 000, Folhas 6A e 6C- (Folha 6A por Noronha et al., 1983 e a folha 6C por Ribeiro et al., 2000).

A exploração na mina desenvolveu-se segundo grupos de exploração tendo sido seguramente a natureza do material, litologia encaixante, características específicas do minério ou ainda o estado dos terrenos os critérios tidos em conta para a divisão dos grupos. Estes grupos foram em tempos nove, do A ao I, tendo sido reduzidos posteriormente no decorrer da exploração (Noronha, 1983).

De seguida é feita uma pequena abordagem sobre cada grupo de exploração segundo Noronha (1983):

- o grupo A localiza-se na zona mais a nascente do jazigo, sendo limitado a poente pela falha do filão 3. Distribui-se quase exclusivamente na zona xistenta (zona constituída por rochas metassedimentares predominantemente micaxisto) entrando apenas no nível -110 no que está definido como zona granítica intercalar (zona constituída por granito porfiróide da Borralha no seio do qual existem ocorrências de micaxisto de menor dimensão);

- o grupo B está limitado a nascente pela falha do filão 3 (sendo à superfície limitado pelo rio Borralha) e a poente pela falha do Caniço. A brecha Santa Helena está inteiramente inserida neste grupo o que leva a que este se estenda bastante para sul. Assim, este grupo abrange a zona xistenta a nascente, a zona granítica intercalar e ainda ao nível -160 a zona de mistura (zona constituída por alternâncias de rochas metassedimentares em maior abundância e algumas ocorrências lenticulares de rochas graníticas e granitóides);
- o grupo C, localiza-se a norte do rio Borralha, é limitado a nascente pelo grupo A, ou seja, pela falha do filão 3, e a poente pelo grupo D, ou seja, pela falha do Caniço. Localiza-se exclusivamente na zona xistenta porque só existem trabalhos superficiais no nível + 12;
- o grupo D tem como fronteiras a nascente a falha do Caniço e a poente a falha do grupo E. Trata-se de um grupo bastante extenso pelo que na zona norte distingue-se a zona de Venise. Localiza-se na zona xistenta a norte e na zona de mistura a sul sendo que em profundidade, no nível – 110, corta a zona da rocha negra (zona em que as rochas graníticas têm cor negra devido à abundância em biotite, de grão médio a fino);
- o grupo E é um dos maiores grupos a nível de extensão, e localiza-se no seu essencial na zona do granito franco (zona constituída pelo granito porfiróide sintectónico da Borralha) e da rocha negra;
- o grupo F localiza-se em plena zona granítica e foi um grupo cujos trabalhos se desenvolveram do nível 0 ao nível + 90;
- o grupo G apenas teve trabalhos acima do nível 0, na margem sul do rio Borralha entre o grupo E e o grupo D, mais concretamente, o setor Venise deste último;
- o grupo H encontra-se limitado a norte do grupo I e em tempos englobava erradamente o que foi definido mais tarde como sendo o grupo G;
- o grupo I localiza-se a poente do grupo D e a norte do grupo E, estando a norte do rio Borralha. Apenas teve trabalhos no nível 0 e está inserido na zona xistenta.

Noronha (1983) descreveu que a fracturação presente na área em estudo foi devida, no essencial, a uma fase frágil tardia. Na Tabela 2 é possível observar as famílias de falhas descritas para o jazigo, sendo que F3 é inversa e esquerda, as restantes gravíticas e direitas e F1 é a família que possui maior frequência

Tabela 2 - Descrição das famílias de diáclases para a área de estudo (adaptado de Noronha, 1983).

Família de falhas	Atitude média
F1	N20°E, 70°NW
F'1	N45°E, 60°NW
F2	N90°E, 60°N
F3	N110°E, 50°N
F4	N20°E, 70°SE
F5	N20°W, 80°SW
F6	N6°W, 70°E
F7	N140°E, 60°NE
F8	N140°E, 80°NE

2.4 Estruturas mineralizadas do jazigo

Como foi anteriormente referido, a mineralização encontra-se, fundamentalmente, em filões de ganga quartzosa, mas, também em duas estruturas brechóides mineralizadas em que apenas uma é aflorante.

Seguidamente descrevem-se os dois tipos de estruturas mineralizadas (filões e brechas) presentes no jazigo da Borralha:

2.4.1 Filões

Noronha (1983) considera um filão como um conjunto de lentículas localizadas numa fratura ou conjunto de fraturas que se desenvolvem em determinado enfiamento e com atitudes semelhantes. Neste jazigo existem dois tipos de filões: os verticais com pendores superiores a 45°; e os sub-horizontais com pendores que nunca ultrapassam os 30°.

Apesar de todas as diferentes direções e inclinações, é de salientar a predominância da direção E-W e o pendor para norte da maioria dos filões.

Na mina foram explorados filões sub-horizontais, verticais. Foi, contudo, sobre os filões verticais que incidiu a maioria da exploração uma vez que eram os mais conhecidos e estudados, enquanto que os filões sub-horizontais foram explorados essencialmente nos níveis mais superficiais.

2.4.2 Brechas

Os dois corpos brechóides que ocorrem no jazigo da Borralha são, sem dúvida, duas das mais importantes singularidades deste jazigo. No jazigo encontram-se duas brechas, a brecha Venise e a brecha Santa Helena.

A brecha Santa Helena, aflorante, aparenta ter maiores dimensões relativamente ao reconhecido atualmente da brecha Venise que não aflora. A brecha Santa Helena, localiza-se no grupo B, entre a zona do granito franco e a zona do micaxisto franco, enquanto a brecha Venise encontra-se no grupo D, a NW da brecha Santa Helena e na zona do micaxisto franco. De referir que entre elas se desenvolve uma grande falha regional a “Falha do cavaleão” de orientação ESE-WNW.

M. Ferro (1957) utilizou pela primeira vez o termo “pipe bréchico” ao referir-se à brecha Santa Helena, sendo que até aí esta era referida como “stockwerk”. Quanto à brecha Venise, esta foi verdadeiramente reconhecida como tal no nível -60, sendo observado no nível -10 uma estrutura muito fraturada e onde não se observava movimento de blocos.

As duas brechas são estruturas subverticais e com secção elíptica, sendo os contatos com as formações encaixantes bruscos (Noronha,1983).

Segundo Noronha (1979), a brecha Venise é quase exclusivamente constituída por elementos micaxistos e alguns elementos aplíticos.

A alteração hidrotermal varia de intensidade segundo a natureza dos elementos, sendo nuns evidente e noutros parecem inalterados. Os elementos não xistentos da brecha Venise parecem demonstrar maior alteração que os da brecha Santa Helena.

Quanto à mineralização da brecha Venise esta apresenta um bandado de quartzo e sericite a envolver os elementos e em contacto com o cimento quartzoso. Esta brecha nunca foi alvo de trabalhos, embora no nível -60 seja cortada por galerias onde se identificam alguns sulfuretos, já no nível -110 apresenta mineralização em molibdenite e aparece em contacto com ganga quartzosa.

A brecha Venise pelos dados existentes parece existir um aumento de teor em mineralização em profundidade, enquanto que na brecha Santa Helena diminui de frequência em profundidade.

A brecha Santa Helena foi a única alvo de trabalhos, à superfície, nos anos cinquenta (do século passado). Esta apresenta-se como o caso de estudo da presente dissertação sendo, por isso, descrita de forma pormenorizada no Capítulo 3.

Capítulo 3 - Caso de estudo: A brecha Santa Helena

3. Caso de estudo: A brecha Santa Helena

3.1 Definição e classificação de brecha

Para uma melhor compreensão do caso de estudo é deveras importante definir o termo brecha bem como as classificações apresentadas por diferentes autores, uma vez que, este termo é bastante abrangente e as classificações não são unânimes nem internacionais.

Segundo Noronha (1979), brecha é uma estrutura de forma variável, composta por fragmentos, podendo estes ser ou não a totalidade da brecha, existindo assim a possibilidade de serem suportados ou não por uma matriz ou cimento. Os fragmentos de rochas, os clastos, são normalmente angulares podendo ocorrer por vezes algum arredondamento.

Quanto à classificação, muitos autores defendem que se tratam de termos genéticos que presidiram à sua formação e não de uma verdadeira classificação. Johnston e Lowell (1961) defendem que os possíveis mecanismos para a formação de brechas são: explosão, tectónica, intrusão ígnea, intrusão de fluídos, dissolução e substituição, “mineralization stoping”, ou “shrinkage”. Por sua vez, Bryant (1968) considera os seguintes mecanismos: ação explosiva de fluídos em expansão, tectónica, intrusão ígnea, dissolução e subsidência, intrusão de fluídos ou fluidização, ou por colapso. Konstantinov (1978) considera que apenas mecanismos de explosão, tectónica, injeção e metassomatismo podem estar na génese de brechas.

3.2 Caracterização da brecha Santa Helena

A brecha Santa Helena é uma estrutura brechóide, única na Península Ibérica e uma das raras ocorrências em toda a Europa.

Encontra-se na zona central da área das minas da Borralha. é aflorante, subvertical, elíptica com aumento em profundidade, sendo à superfície o seu eixo maior orientado N-S e com um comprimento de 400 m e o eixo menor com um comprimento de 80 m; em profundidade, e do que foi reconhecido, atinge os 200 m tendo sido reconhecida no nível -110 (sendo o rio Borralha o nível 0 que está a uma cota 709 m) (Noronha, 1983).

A brecha tem elementos de rochas granitóides, graníticas, pegmatíticas e micaxistos, sendo os fragmentos na sua maioria angulosos embora em alguns destes seja possível observar um ténue arredondamento provocado, provavelmente, por colisões com outros fragmentos. A granulometria dos fragmentos é bastante diversificada podendo ir de alguns centímetros a metros. O cimento desta brecha é na sua maioria constituído por quartzo hidrotermal, ocorrendo por vezes clorite e adulária no cimento. O quartzo encontra-se mineralizado com volframite, scheelite e sulfuretos, embora a mineralização tanto ocorra nos filões como em vazios e em fraturas dos fragmentos principalmente nos de maiores dimensões (segundo observações no terreno e Noronha, 1983).

Quanto à classificação deste tipo de estruturas, Conde et al. (1971), referem-se à brecha Santa Helena como uma brecha de colapso, enquanto Gaillard (1972) classifica esta mesma estrutura como uma brecha de colapso formada por “block caving”, e Prouhet e Bonnici (1972), apresentam duas hipóteses para a classificação desta a primeira por colapso, e a segunda por explosão.

Noronha (1979 e 1983) descreve a formação e estrutura das brechas presentes no jazigo, bem como os elementos que as constituem. As características descritas por Noronha (1979) são as seguintes:

- a forma grosseiramente elíptica à superfície e cónica na vertical reconhecida;
- o facto de não se observar um controlo estrutural evidente, embora a relação com a zona de intersecção de falhas dos sistemas N-S e N90° - N100° E não possa ser de todo descartada;
- os contactos com as encaixantes são bruscos e bastante nítidos, além de que os contactos Este e Oeste são normalmente associados a falhas com ou sem quartzo;
- os fragmentos de rocha que constituem a brecha têm a mesma composição que as rochas encaixantes, além de que os clastos de micaxisto apresentam o mesmo grau de metamorfismo e deformação que o micaxisto encaixante;
- a litologia não condiciona a granulometria dos grãos;
- os fragmentos ocorrem de forma desordenada, não apresentando uma orientação preferencial;
- os limites dos clastos estão bem definidos sendo na sua maioria angulares a sub-angulares;
- a xistosidade do micaxisto e a orientação do granito porfíróide da Borralha provam que os fragmentos não se encontram na sua posição original;

- o cimento da brecha é em geral constituído por quartzo hidrotermal encontrando-se pontualmente outros minerais hidrotermais;
- é possível observar, nos níveis mais próximos da superfície, estruturas do tipo “angular – crackle – breccia” embora nas rochas encaixantes seja difícil de observar quaisquer ocorrências de fenómenos quer de brechificação quer de alteração.

Quanto à mineralogia da brecha Santa Helena não existem muitos trabalhos sobre o tema. Apenas é possível encontrar dados na tese de doutoramento de Noronha (1983) e no relatório de estágio de Lima (2015).

3.3 Outro exemplo de jazigo com “breccia pipe”

3.3.1 Puy – les – Vignes (França)

Segundo Harlaux et al, (2015a), o jazigo de Puy-les-Vignes situa-se na parte noroeste do Maciço Central Francês (MCF, que resulta da colisão entre o Gondwana e Laurussia durante o Paleozóico superior), na área de Limousin, que faz parte da zona oeste da cintura Varisca europeia, e trata-se de um depósito hidrotermal de tungsténio associado a uma estrutura do tipo “breccia pipe”.

Este jazigo é um importante potenciador económico de tungsténio e estanho, bem como de metais raros.

É caracterizado pela mineralização polimetálica bastante diversificada W-Bi-Cu-Fe-As-(Au) e foi explorado até 1987 Harlaux et al, (2015b). A mineralização em volframite

Este depósito está alojado no manto intermédio dos três mantos que constituem o MCF, na unidade inferior gnáissica, da fácies biotite-silimanite. Localiza-se a 20 km a sul do complexo leucogranito de St. Sylvestre a 15 km oeste do complexo leucogranito Millevaches e próximo ao granito Auriat e Aureil (Fig. 10).

A mina de Puy-les-Vignes foi subterrânea e esteve em laboração até 1957, sendo que apenas metade da brecha foi alvo de trabalhos.

A brecha tem uma forma oval e está cortada por uma falha que provoca o deslocamento desta. Trata-se de uma brecha de colapso com clastos de diferentes dimensões, angulares a sub-angulares. A maioria dos clastos foi greisenizado e contém uma auréola de turmalinização com espessura variante, sendo de dois tipos litológicos gnaiss e granito, numa matriz quartzosa.

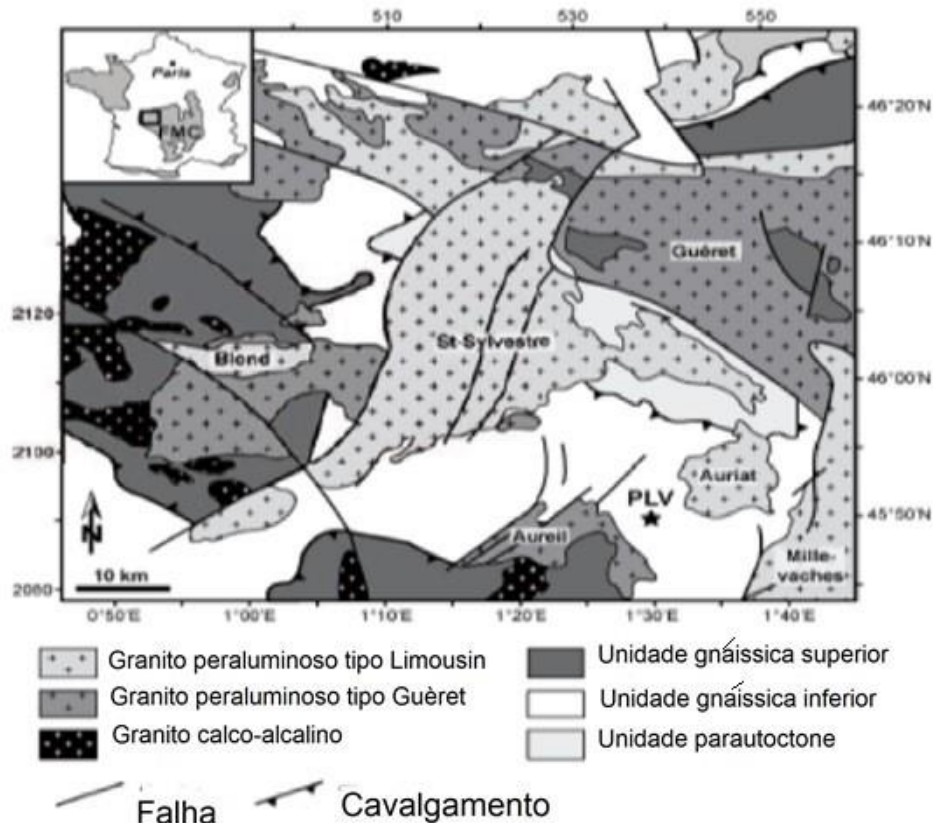


Figura 10 - Localização de Puy les Vignes (adaptado de Harlaux et al., 2015a).

De acordo com a petrografia, é possível distinguir seis estádios principais (Fig.11):

- formação da brecha e alteração hidrotermal das rochas, caracterizada pelo primeiro passo de greisenização, com associação quartzo-moscovite, seguida por intensa turmalinização;
- estágio da mineralização em tungsténio associada a fracturação hidráulica e formação de filões de quartzo-volframite-arsenopirite. A volframite forma cristais euédricos parcialmente substituídos por ferberite e scheelite;
- estágio dos sulfuretos de metais básicos, sobretudo pirite, calcopirite, enargite e esfalerite;
- estágio de alteração hidrotermal tardia com mineralizações de Nb, Y e elementos de terras raras (ETR), formação de crackle-breccia com turmalina – adulária – clorite, tendo como minerais acessórios zircão, xenótimio e monazite;
- mineralização discreta em bismuto nativo, sulfossais e electrum;
- alteração tardia da arsenopirite em socorodite – ilite, representando alterações de baixa temperatura dos sulfossais.

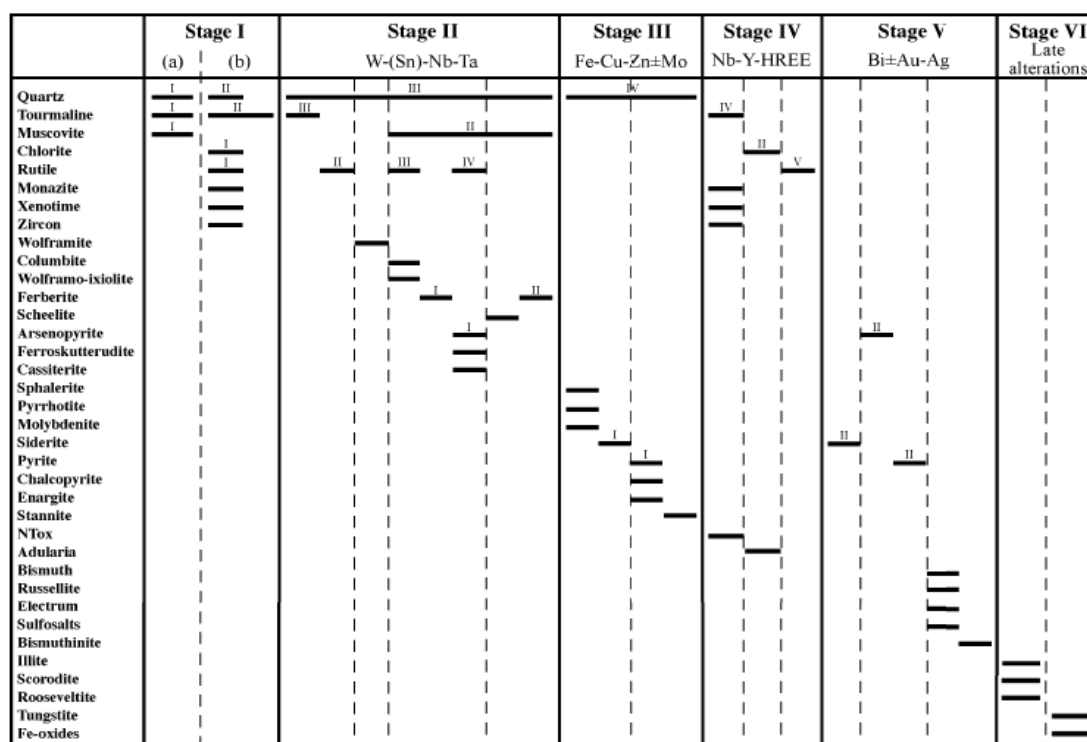


Figura 11 - Sequência de deposição no jazigo de Puy-les-Vignes (Harlaux, 2015a).

A alteração supergénica afeta os depósitos formando minerais secundários como a tungstite e óxidos de ferro.

3.4 Materiais e Métodos

3.4.1 Materiais

3.4.1.1 Sondagem Bo_8a/14

Esta dissertação tem por base o estudo de uma sondagem (Bo_8a/14) que permite um melhor reconhecimento da brecha uma vez que esta atravessa toda a estrutura brechóide e que foi uma das nove efetuadas.

A sondagem foi realizada pela empresa Drillcon Iberia de 16 de setembro a 29 de novembro de 2014, na zona central da brecha Santa Helena. Conforme se pode observar no mapa da Fig. 12, a sondagem é caracterizada pelas coordenadas (585460, 4611344, 845), azimuth de 110° e inclinação de 60°, correspondendo na figura à sondagem Bo_8a/14.

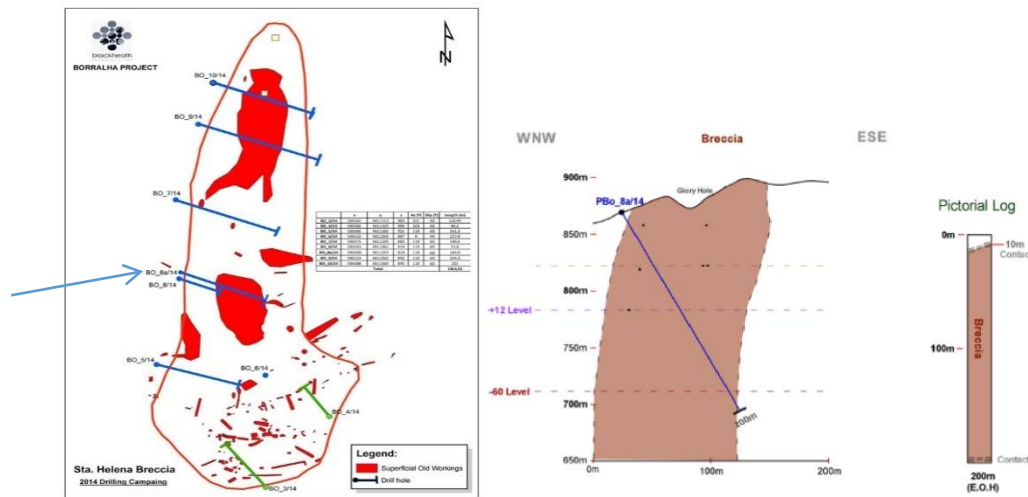


Figura 12 – Mapa da brecha com implantação das sondagens perfil da sondagem em estudo.

A sondagem tem uma extensão de 184,90 m, e teve uma taxa de recuperação da ordem dos 97 %.

Com base no log de sondagem fornecido pela empresa e nos testemunhos desta mesma sondagem foi possível realizar uma amostragem representativa de toda a sondagem, bem como das litologias, mineralizações e alterações presentes. Foram selecionadas as zonas de interesse e colhidas, então, 13 amostras para análise macroscópica, das quais foram depois selecionadas as áreas mais relevantes para estudo microscópico e analítico (Ver tabela 4).

3.4.2 Métodos de estudo

3.4.2.1 Análise macroscópica

O estudo macroscópico focou-se na observação da brecha *in situ* e dos testemunhos de sondagem.

Foi efetuada uma descrição dos testemunhos da sondagem, Bo_8a/14 e efetuado o respetivo log em complemento do fornecido pela companhia.

Após esta primeira abordagem, foi possível inferir os locais de maior interesse petrográfico para se realizar uma amostragem significativa, bem como as litologias presentes e a mineralogia possível de identificar a olho nu.

No total dos 185 m de testemunhos, foram colhidas 13 amostras com diferentes singularidades e que são, igualmente, representativas de toda a sondagem.

Destas 13 amostras foram realizadas lâminas delgadas polidas que permitiram um estudo microscópico mais detalhado.

3.4.2.2 Microscopia ótica

A microscopia ótica de transmissão permite o estudo de minerais não metálicos, permitindo o estabelecimento da sua relação com a mineralização metálica.

A microscopia ótica de reflexão foi utilizada em conjugação com a primeira e, permitiu a identificação dos minerais opacos, as texturas presentes e assim inferir sobre as paragénese e associações mineralógicas que ocorrem na superfície polida.

O estudo foi realizado recorrendo a lâminas delgadas polidas.

Na Fig. 13 está representado o microscópio utilizado no DGAOT para este estudo, um microscópio polarizante com luz transmitida e refletida Leica DM LSP acoplado com uma câmara Leica usando o software LAS EZ software 2.0.0.

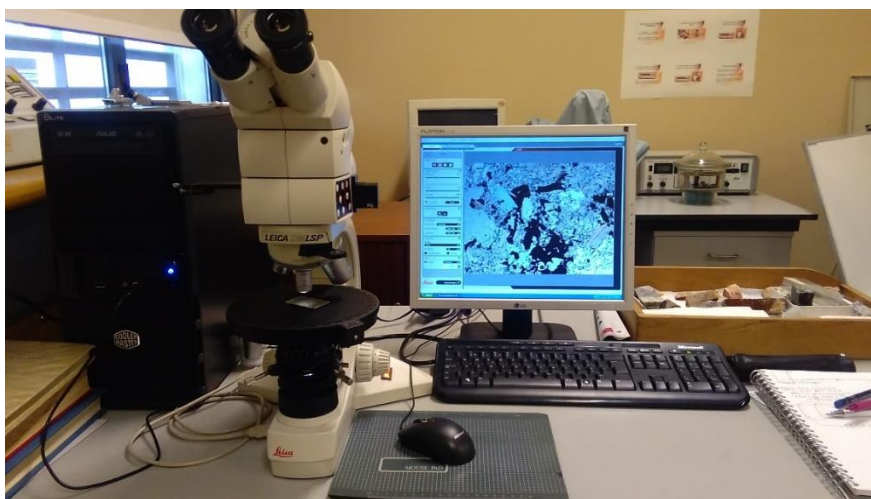


Figura 13 - Microscópio ótico polarizante do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território (DGAOT).

3.4.2.3 Microscopia eletrónica de varrimento

Para uma escala de observação mais pormenorizada, em áreas previamente selecionadas recorrendo à microscopia ótica recorreu-se ao microscópio eletrónico de varrimento do Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP).

Esta técnica permite a recolha de imagens de alta resolução e a sua análise dá um resultado qualitativo dos elementos presentes no cristal. As superfícies polidas para

serem analisadas neste equipamento necessitam de um tratamento com cobertura por carbono para que sejam condutoras para observação.

A construção da imagem é feita a partir da emissão de um feixe de electrões com uma carga específica que vão incidir ponto a ponto na superfície fazendo um varrimento desta para obtenção da imagem.

A radiação incidente pode ser de dois tipos, electrões secundários onde há libertação de radiação e é obtida a topografia e depois os electrões retrodifundidos, em que os electrões do feixe é que são lidos mostrando um certo brilho na superfície associado ao número atómico do elemento presente.

Esta análise é normalmente não destrutiva.

Foi utilizado neste trabalho o equipamento, Fig. 14, FEI Quanta 400 FEG ESEM/EDAX Genesis X4M: 15kV e com um espaçamento de trabalho de 10,0 mm. Para a preparação das amostras foram cobertas com carbono usando para isso o equipamento JEOL JEE – 4x Vacuum Evaporator (CEMUP, 2016).



Figura 14 - Microscópio eletrónico de varrimento. CEMUP (retirado de www.cemup.up.pt a 16/5/2016).

3.4.2.4 Microsonda eletrónica

A microsonda permite um estudo quantitativo das amostras conhecidas bem como reconhecer a composição química de minerais que não foram possíveis de identificar.

O equipamento utilizado foi o da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, a microsonda JEOL JXA – 8200 WD/ED *combined microanalyser* (Fig. 15).

Para a análise as amostras foram metalizadas no equipamento BAL-TEC CED 030.



Figura 15 - Microsonda eletrónica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Capítulo 4 - Resultados

4. Resultados

Neste capítulo descrevem-se os resultados obtidos da observação da sondagem e os resultados do estudo petrográfico tornando, assim, possível definir a sequência de deposição mineral com base nas observações.

4.1 Sondagem

4.1.1 Litologia

Para realizar a amostragem foi necessário o reconhecimento de toda a sondagem.

Na Tabela 3 encontram-se apresentadas as localizações no testemunho da sondagem das amostras selecionadas para estudo bem como a identificação de teores em WO_3 e da litologia presente. Foram selecionadas amostras com litologias diferentes das habituais, mesmo que não mineralizadas, e amostras com mineralização visível.

Tabela 3 - Adaptação do log da sondagem efetuado em 2014 e fornecido pela empresa Minerália Minas e Geotécnica.

Profundidade (m)	Litologia	Amostragem
0-1	Rocha negra alterada Moscovite e quartzo leitoso	
1-2		
2-3		
3-4		
4-5		
5-6		
6-7		
7-8		
8-9		
9-10		
10-11		
11-12	Início da brecha aos 11,30m. 11,60m elemento xistento com moscovitização Alternância xistentos e pegmatitos 26 m Rocha leucocrata com alteração rosea e com elementos mais leucocrata 28 m xisto com turmalização 32 m rocha leucocrata grão médio 34 m cloritização e moscovitização	AM1 – 12,10m
12-13		
13-14		
14-15		
15-16		
16-17		
17-18		
18-19		
19-20		
20-21		
21-22		
22-23		
23-24		
24-25		
25-26		
26-27		AM2 – 26,60m AM3 – 26,70m
27-28		
28-29		
29-30		
30-31		
31-32		
32-33		
33-34		
34-35		
35-36		
36-37		

Tabela 3 (Cont.) - Adaptação do log da sondagem efetuado em 2014 e fornecido pela empresa Minerália Minas e Geotécnica.

37-38	50,5m granito da Borralha	
38-39		
39-40		
40-41		
41-42		
42-43		
43-44		
44-45		
45-46		
46-47		
47-48		
48-49		
49-50		
50-51		
51-52		
52-53		
53-54		
54-55		
55-56		
56-57		
57-58		
58-59		
59-60	62m – xisto associado a quartzo	
60-61		
61-62		
62-63		
63-64		
64-65		
65-66		
66-67		
67-68		
68-69		
69-70		
70-71		
71-72		
72-73		
73-74		
74-75		
75-76		
76-77		
77-78		
78-79		
79-80		
80-81	90m – elementos metassedimentares	
81-82		
82-83		
83-84		
84-85		
85-86		
86-87		
87-88		
88-89		
89-90		
90-91		
91-92		
92-93		
93-94		
94-95		
95-96		
96-97		
97-98		
98-99		
99-100		
100-101		
101-102		

AM4 – 62,20m

AM5 – 78 m

Mineralogia da brecha Santa Helena do jazigo de W da Borralha, Montalegre

Tabela 3 (Cont.) - Adaptação do log da sondagem efetuado em 2014 e fornecido pela empresa Minerália Minas e Geotécnica.

102-103	110 m – granito associado a outro quartzo – moscovítico 111m – elementos xistentos	AM6 – 110,00m
103-104		
104-105		
105-106		
106-107		
107-108		
108-109		
109-110		
110-111		
111-112		
112-113	117 m – zona núcleo da brecha	
113-114		
114-115		
115-116		
116-117		
117-118		
118-119		
119-120		
120-121		
121-122		
122-123	128 m – alteração de minerais de argila 129 m – pegmatito	
123-124		
124-125		
125-126		
126-127		
127-128		
128-129		
129-130		
130-131		
132-133		
133-134	132 m – renda quartzo com volframite, xisto com sericite 135 m – granito de grão médio 138 m – minério fino 139 m – granito duas micas 140 m – rocha leucocrata grosseira	AM7 – 132,00m
134-135		
135-136		
136-137		
137-138		
138-139		
139-140		
140-141		
141-142		
142-143		
143-144	146,5 m – granito com minerais escuros 153m – volframite em pegmatito 155 m – pegmatito com mineralização visível 161 m – rocha leucocrata grosseira 165 m – granito biotítico 167 m – forte alteração hidrotermal 172 m – contato brusco pegmatito e granito	AM8 – 140,80m
144-145		
145-146		
146-147		
147-148		
148-149		
149-150		
150-151		
151-152		
152-153		
153-154	161 m – rocha leucocrata grosseira 165 m – granito biotítico 167 m – forte alteração hidrotermal 172 m – contato brusco pegmatito e granito	AM9 – 146,50m
154-155		
155-156		
156-157		
157-158		
158-159		
159-160		
160-161		
161-162		
162-163		
163-164	165 m – granito biotítico	AM10 – 155,10m
164-165		
165-166		
166-167		
167-168		

Tabela 3 (Cont.) - Adaptação do log da sondagem efetuado em 2014 e fornecido pela empresa Minerália Minas e Geotécnica.

168-169	172 m – pegmatito e granito	
169-170		
170-171		
171-172		
172-173		
173-174	Granito franco Presença de sericite e quartzo, clorite e calcopirite	AM11 – 173,10m
174-175		
175-176		AM12 – 175,80m
176-177		
177-178		
178-179		
179-180		
180-181		
181-182		AM13 – 181,80m
182-183		
183-184		
184-185		

Até aos 11 m o material está muito alterado, mas ainda assim é possível identificar moscovite e quartzo leitoso.

A brecha propriamente dita começa aos 11,30 m (teor em WO_3 de 265 ppm) que é marcado pelas diferenças na alteração. Sendo que é possível distinguir uma rocha leucocrata muito moscovitizada, de provável natureza aplitopegmatítica, este elemento prolonga-se até aos 11.60 m.

Dos 11.60 m até aos 14.30 m observa-se um elemento xistento com moscovitização e cortado por litologias diferentes. A amostra **AM1**, Fig. 16, foi recolhida aos 12,10 m apresenta cristais centimétricos de volframite no quartzo. É possível identificar alguns espaços vazios na volframite. Os efeitos da alteração estão marcados por uma patine amarelada nos bordos da amostra. É de realçar que a esta metragem corresponde um teor de 9462 ppm em WO_3 .



Figura 16 - Amostra AM1 onde se observa volframite grosseira e quartzo.

Aos 14,3 m (teor em WO_3 de 278 ppm) observa-se alternância entre elementos leucocratas pegmatíticos e elementos mais xistentos.

Estas litologias mantêm-se até aos 18,6 m (teor em WO_3 de 76 ppm) onde é possível identificar o granito da Borralha muito alterado meteoricamente. sendo a taxa de recuperação da muito baixa. Existem, contudo, evidências de alteração hidrotermal, marcada pela moscovitização. Aos 21 m (teor em WO_3 de 227 ppm) observa-se novamente xisto.

Aos 26 m (teor em WO_3 de 151-240 ppm) observa-se uma litologia de tom rosáceo, misturada com elementos mais leucocratas, sendo possível destacar a presença de quartzo grosseiro. Nesta metragem foram recolhidas duas amostras:

- **AM2**, Fig. 17, colhida aos 26,60 m, apresenta um teor em WO_3 de 240 ppm. Aqui é possível observar uma diferença de litologias, sendo que uma possui uma cor mais leucocrata e outra um tom mais róseo, proveniente da alteração da “rocha negra”, que é uma rocha tonalítica. Nesta amostra está ainda presente um filonete de quartzo com estrutura em pente tendo no seu interior vestígios de acumulação de óxidos;
- **AM3**, Fig. 18, foi colhida aos 26,70 m, sendo que para esta metragem o teor em WO_3 é de 240 ppm. Esta amostra identifica uma rocha alterada, com níveis mais bege e outros mais avermelhados, sendo a alteração da “rocha negra”. É possível identificar alguma sericitização associada ao material mais leucocrata (pegmatito).



Figura 17 - Amostra AM2 onde se observa um contato entre um elemento granito alterado e um elemento de metassedimento.



Figura 18 - Amostra AM3 onde se observa uma rocha leucocrata e outro material mais rosáceo que corresponde à alteração da rocha negra.

Dos 28,30 aos 32 m é possível observar xisto com uma ligeira turmalização (teor em WO_3 de 63 ppm).

Aos 32 m observa-se uma rocha leucocrata de granulometria média (teor em WO_3 de 1602-72 ppm).

Aos 34 m identifica-se cloritização e moscovitização em diferentes elementos da brecha (teor em WO_3 de 86 ppm).

Aos 35 m identifica-se volframite fina, observando-se também quartzo tardio com clorite, sendo que a presença de micas e de espaços vazios ajudam a identificar locais mineralizados (teor 1615 ppm de WO_3).

Dos 35 ao 50m ocorre brecha fraturada sem mineralização evidente.

Dos 50,5 aos 52 m existe uma mudança de litologia para granito da Borralha, com a alteração hidrotermal ainda bastante visível (bloco granítico).

No intervalo dos 52-54 existem veios de quartzo com rara volframite, com ocorrência de moscovite grosseira e sericite em xisto no qual é possível detetar veios de feldspato potássico e clorite (teor de 622 ppm em WO_3).

Aos 54,10 m é possível distinguir um elemento pegmatítico, com indícios de caulínização, depois aparece novamente xisto e um pouco mais a frente um elemento granítico de pequenas dimensões (teor em WO_3 de 34 ppm).

Dos 57,5 - 58,5 m granito e pegmatito e é possível distinguir a mineralização associada a quartzo (teor de 6825 ppm em WO_3).

Aos 62,20 m foi retirada uma amostra a **AM4**, Fig. 19, e que corresponde a um teor em WO_3 de 848 ppm. Trata-se, pois, de um elemento xistento associado a quartzo. É visível

alguma oxidação quer em fraturas do quartzo com sulfuretos, quer aproveitando a xistosidade para a sua instalação.



Figura 19 - Amostra AM4 onde se observa no quartzo a calcopirite e clorite, estando estes em contato com um elemento metassedimentar.

Aos 69 m existe outro elemento de granito da Borralha que apresenta as mesmas alterações hidrotermais que os elementos graníticos anteriores (teor em WO_3 de 93 ppm).

Aos 78 m a cloritização está mais marcada, é possível, contudo, identificar uma fratura com sulfuretos. A esta profundidade foi recolhida outra amostra a **AM5**, Fig. 20, recolhida aos 78 m da sondagem onde foi apurado um teor em WO_3 de 734 ppm. Esta amostra é constituída por fragmentos de rocha leucocrata e quartzo. Nas fraturas de quartzo é possível distinguir clorite fina não lamelar. Esta apresenta um conjunto de sulfuretos semelhante ao identificado na fratura dos 99 m.



Figura 20 - Amostra AM5. Nesta observa-se um elemento leucocrata em contato com quartzo onde se encontram elementos mais escuros.

Até aos 90 m os elementos da brecha são essencialmente metassedimentares seguindo um padrão de alteração muito similar entre eles. Nestes elementos a dispersão de sulfuretos e de mineralização é completamente aleatória (teor de 705 ppm em WO₃).

Aos 91 m é possível observar brecha com pouco espaço entre diferentes elementos de diferentes litologias sendo de notar que os elementos metassedimentares não possuem uma concordância com os envolventes, isto é, a xistosidade é completamente diferente do xisto que está presente na mina (teor de 1489 ppm em WO₃). Aos 92 m, Fig. 21, é possível observar alguns dos aspetos que fazem com que esta brecha tenha sido classificada como uma brecha de colapso. São, por exemplo, a angularidade dos elementos, o facto de só estarem presentes elementos das rochas que estão presentes lateralmente e, a xistosidade não concordante com a regional (teor de 1363 ppm em WO₃).



Figura 21 - Testemunho aos 92 m onde vemos elementos rochosos angulosos e um elemento xistento de maiores dimensões.

Aos 94 m, Fig. 22, encontram-se elementos de natureza granítica e de natureza xistenta. É possível observar efeitos de sericitização (teor de 5122 ppm em WO₃).

Neste local também se observa feldspato potássico com um tom amarelado devido à alteração deste.



Figura 22 - Testemunho aos 94m onde é possível encontrar as variações de xistosidade entre elementos.

Aos 96 m inicia-se uma fratura com sulfuretos que continua aos 99m. É de realçar que aos 99m, Fig. 22, ocorre ainda um produto tardio de cor avermelhada, devido à presença e óxidos que preenchem a fratura (teor em WO_3 de 2586 ppm).

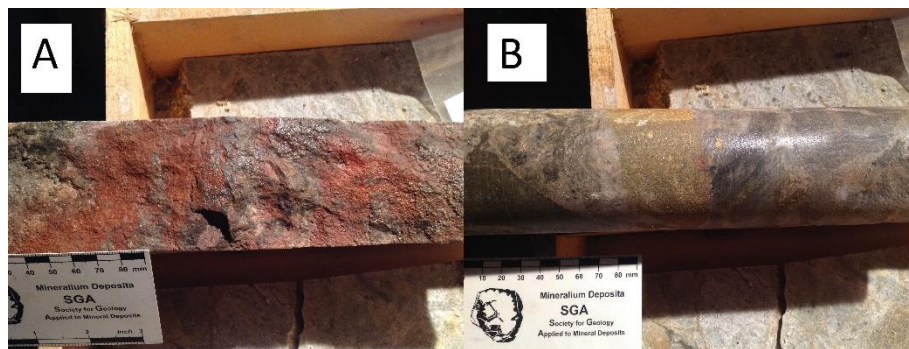


Figura 22 - Testemunho aos 99 m. A - frente, B - verso, onde é possível encontrar uma fratura onde já se depositaram óxidos, de cor avermelhada, enquanto que no verso do testemunho vemos diferentes elementos, um amarelado, um mais acinzentado com presença de sulfuretos.

Aos 101 m, Fig. 23, é possível encontrar granito porfiróide deformado, com alterações e fina mineralização (teor de 1132 ppm em WO_3).



Figura 23 - Testemunho aos 101,30 m nesta metragem existe um elemento granítico porfiróide com presença de um produto de alteração secundário em contacto com outra litologia mais acinzentada.

O granito mantém-se numa extensão considerável, sendo, porém, de notar que aos 109 m, Fig. 24, o granito não se apresenta deformado (teor em WO_3 de 4453 ppm).



Figura 24 - Testemunho aos 109 m. O granito presente não apresenta cisalhamento.

Aos 110 m encontramos um elemento granítico associado a outro de natureza quartzo - moscovítica, com presença de moscovite e sericite, com um tom acinzentado. A amostra **AM6** (Fig. 25) foi colhida ao 110 m a que corresponde um teor em WO_3 de 4453 ppm. Esta amostra representa um granito de grão médio (tendo um tom amarelado) e outro material quartzo moscovítico (moscovite e sericite) de tom mais acinzentado. É visível ainda algumas pontuações de litologia mais escura. Nela é essencialmente identificado quartzo, moscovite, albite sendo estes minerais posteriores ao escasso feldspato potássico.



Figura 25 - Amostra AM6 que demonstra um elemento granítico de grão médio em contato com outro elemento mais quartzo moscovítico.

Aos 111 m existem predominantemente elementos xistentos em que os elementos estão com diferentes orientações, entre eles, xistos listrados. Por vezes, é possível distinguir alguns cristais de andaluzite.

Aos 114,5 m, Fig. 26, é possível encontrar uma parte da brecha com elementos muitos angulosos e de diferentes litologias, cimentadas por quartzo (teor de 402 ppm em WO₃).

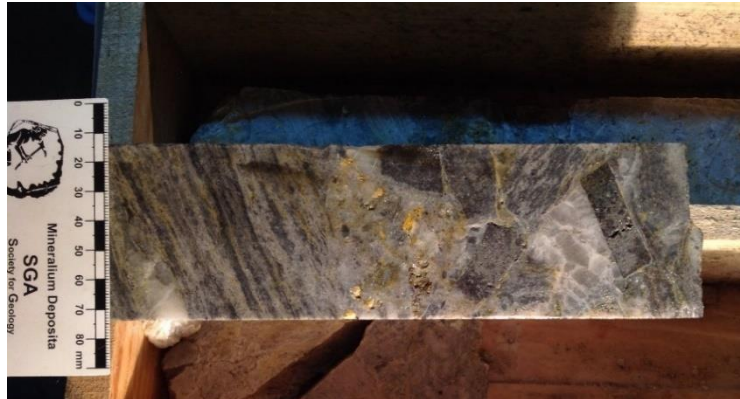


Figura 26 - Testemunho aos 114,5 m onde se observa o quartzo como cimento de diferentes elementos rochosos angulosos.

Aos 117,1 m a brecha tem um aspeto mais “são”, correspondendo à zona do núcleo do corpo brechóide (teor de 1867 ppm em WO₃). Aos 128,3 m ocorre uma patine amarela, uma provável alteração para minerais de argila, com relíquia de metassedimentos num elemento pegmatítico e com presença de sulfuretos.

Aos 129 m ocorre outro elemento pegmatítico (teor em WO₃ de 1741 ppm).

Aos 132m é bem visível uma renda de quartzo com volframite, neste local a sondagem é bastante fraturada elemento de xisto presente encontra-se bastante sericitizado. Amostra **AM7**, Fig. 27, que corresponde um teor em WO₃ de 12616 ppm. Nela a mineralização é bem visível associada a uma renda de quartzo.

Aos 132,1 m existem muitas falhas como se a zona tivesse sido esmagada.

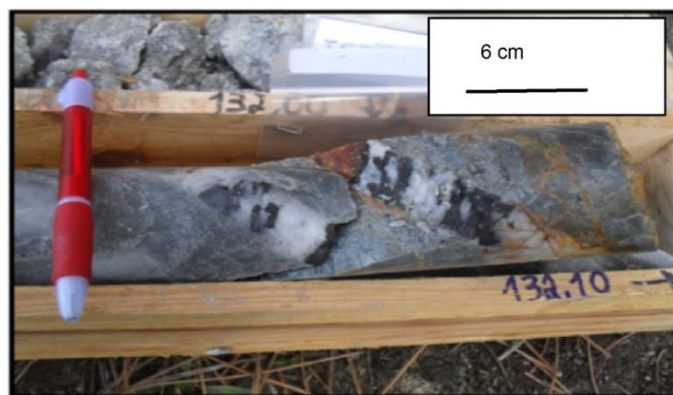


Figura 27 - Amostra AM7 onde é possível ver um filonete de quartzo e volframite a cortar o elemento xistoso.

Aos 135 m aparece um novo elemento granítico com biotite de grão médio não sendo este porfiroide. Ao longo destes metros aparecem ainda alguns filões de material pegmatítico (teor em WO_3 de 1228 ppm).

Aos 138 m consegue-se distinguir minério fino, com prováveis gerações distintas de volframite. (teor de 8062 ppm em WO_3).

Aos 139 m encontra-se um elemento granítico de duas micas de grão médio.

Aos 140,7 m observa-se outro elemento de natureza pegmatítica.

Aos 140,8 m rocha leucocrata grosseira com oxidação e sericitização em contato com um elemento rico em biotite que é cortado por sericite. Amostra **AM8**, Fig.28, foi colhida aos 140,8 m e possui um teor em WO_3 de 717 ppm. Esta apresenta uma litologia leucocrata de granulometria média a grosseira, com uma ligeira oxidação e alguma fracturação reconhecida. É ainda possível identificar uma zona com maior ocorrência de minerais de cor negra sendo este elemento cortado por uma zona de injeção de sericite.



Figura 28 - Amostra AM8 apresenta uma litologia leucocrata de granulometria média a grosseira com uma ligeira oxidação e presença de minerais de cor escura.

Aos 146,5 m é possível observar mineralização sendo de realçar a presença de minerais de cor escura e de sulfuretos. Foi aqui recolhida a amostra **AM9**, Fig. 29, que possui um teor em WO_3 de 5690 ppm. Esta possui um elemento de composição granítica e é possível reconhecer o quartzo que serve de cimento à brecha.

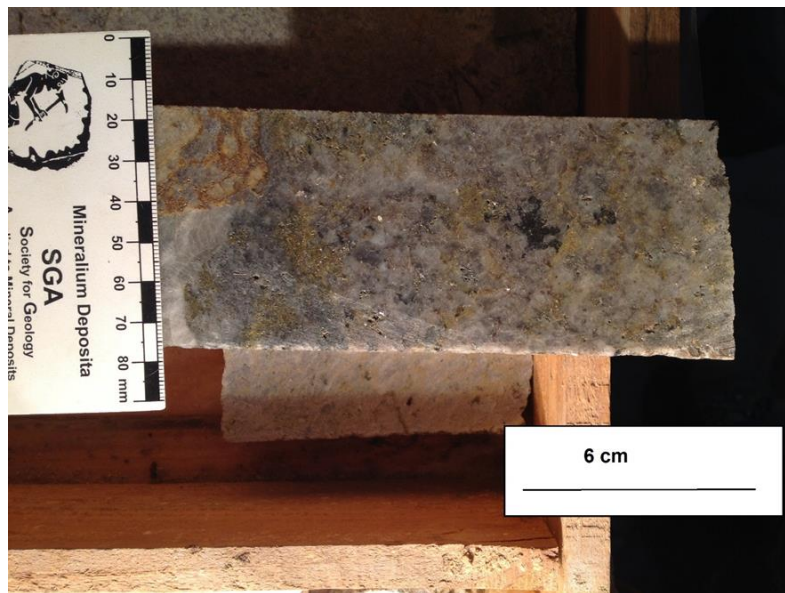


Figura 29 - Amostra AM9 onde está presente um elemento de composição granítica.

Aos 153,10 m observa-se volframite em pegmatito, mas esta é fina e encontra-se disseminada pela amostra (teor de 3938 ppm em WO_3). Aos 154 m é possível identificar um elemento de granito biotítico.

Aos 155,1 m encontra-se um pegmatito com mineralização visível a olho nu, embora a sua dimensão varie em concordância com a granulometria, isto é, granulometria fina mineralização fina, granulometria mais grosseira implica que a mineralização é mais grosseira. A amostra **AM10** (Fig. 30) com um teor em WO_3 de 7052 ppm. Distingue-se ainda minerais de cor negra, bem como moscovitização e sericitização.



Figura 30 - Amostra AM10. Um aplito de granulometria grosseira que ao longo da amostra fica cada vez mais fina.

Aos 161 m é possível identificar uma rocha leucocrata de grão grosseiro com presença de quartzo e micas, é visível sericitização em parte do testemunho (teor em WO_3 de 2397 ppm).

Aos 165 m é possível encontrar um elemento de granito biotítico (teor em WO_3 de 197 ppm).

Aos 167,3 m existe uma litologia com forte alteração hidrotermal (teor em WO_3 de 7671 ppm).

Aos 172 m existe um contato brusco entre dois elementos, sendo eles o granito e o pegmatito (teor em WO_3 de 3823 ppm).

Aos 173 m observa-se uma litologia mais acinzentada, devida à presença de sericite e quartzo com mineralização fina. Amostra **AM11**, Fig. 31, com um teor em WO_3 de 22204 ppm. Macroscopicamente a amostra é muito semelhante à AM13. Esta, a AM11, possui uma granulometria fina, sendo possível distinguir mineralização (volframite e scheelite) e sericitização.



Figura 31 - Amostra AM11. Uma rocha de granulometria fina com mineralização presente e visível a olho nu. Esta amostra encontra-se muito sericitizada.

Foi definido aos 175,8 m o fim da brecha Santa Helena e colhida aí uma amostra, **AM12** (Fig. 32) e com um teor em WO_3 de 167 ppm, nesta amostra é essencial realçar a presença de clorite e calcopirite no quartzo são visíveis alguns espaços vazios sendo provável que se tratem de locais de exsolução de sulfuretos.

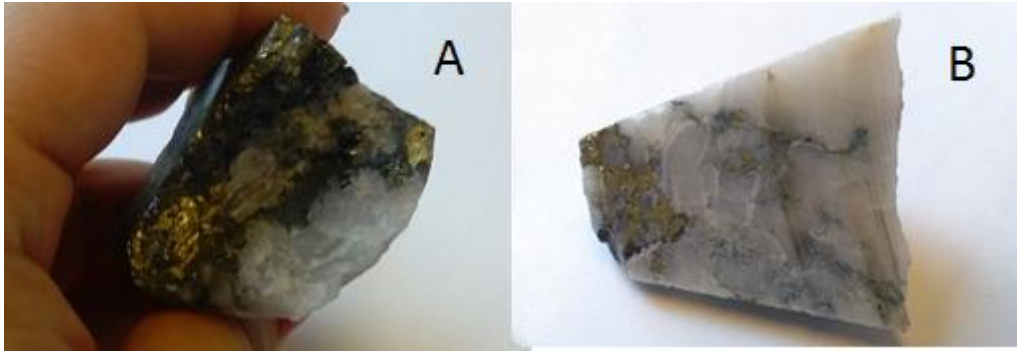


Figura 32 - Amostra AM12 onde se observa quartzo com calcopirite e clorite.

Aos 181,8 m, onde foi colhida a amostra **AM13**, Fig. 33, possui um teor em WO_3 de 173 ppm, estamos perante uma litologia de granulometria fina a média a que corresponde o granito franco, de grão médio e com duas micas e zonas com alteração hidrotermal. Nesta é possível distinguir sericite, moscovite e ilite. Sendo que esta amostra foi retirada já fora do que foi definido como brecha e está inserida na zona do granito franco. Aqui ainda é possível identificar sulfuretos, e efeitos de alteração hidrotermal, mas esta provocando menos alterações do que na brecha.



Figura 33 - Amostra AM13 nesta, já fora da brecha, é possível observar granito ainda com efeitos de alteração hidrotermal.

Aos 182 m e até aos 183,5 m estamos perante uma zona de falha pelo que a taxa de recuperação foi baixa nesta metragem (teor em WO_3 de 16 ppm).

A sondagem terminou aos 185 m, na zona do granito franco embora este apresente até ao final da sondagem ainda efeitos de alteração hidrotermal e mineralização disseminada.

4.2 Estudo petrográfico completado por dados mineralógicos obtidos em microscopia eletrónica de varrimento e em microssonda eletrónica

O estudo petrográfico realizado no decorrer desta dissertação englobou a análise em microscópio ótico, em microscópio eletrónico de varrimento e em microssonda eletrónica.

Esta sondagem inicia-se com rocha negra alterada sendo ainda possível identificar macroscopicamente quartzo e micas. O início da brecha foi estabelecido aos 11,30m da sondagem, embora que aqui ainda bastante meteorizada.

4.2.1 AM3 (26,7 m; 240 ppm WO_3)

Esta amostra foi estudada em microscopia com recurso a uma lâmina delgada polida. No material mais leucocrata é possível observar cristais de quartzo com recrescimento, Fig. 34, isto é, as condições do jazigo permitiram o crescimento dos cristais, sendo estes normalmente euédricos a subédricos. Aqui é, ainda, possível ver o cruzamento de placas moscovíticas, Fig. 35, sem qualquer deformação ou fraturas. No material mais avermelhado é de salientar a presença de óxidos de ferro disseminados. No contacto entre estes elementos é possível observar que enquanto um se caracteriza por quartzo e moscovite outro possui óxidos de ferro e sulfuretos.

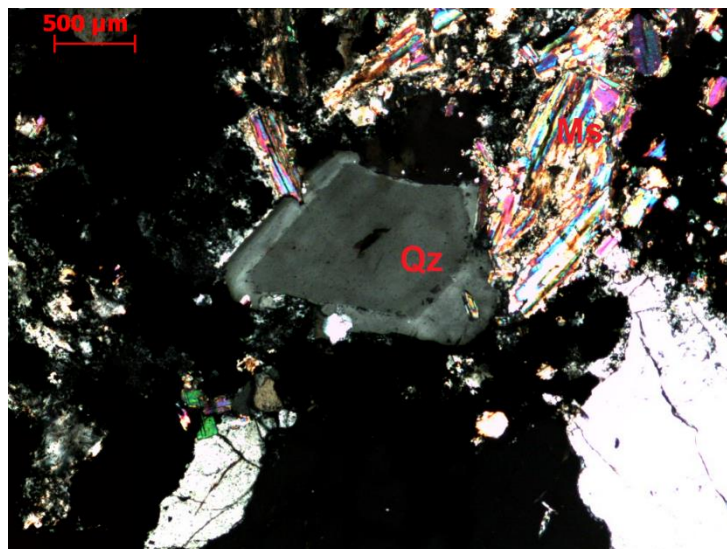


Figura 34 – AM3: Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida em nicóis cruzados. Quartzo evidenciando diferentes fases de crescimento.

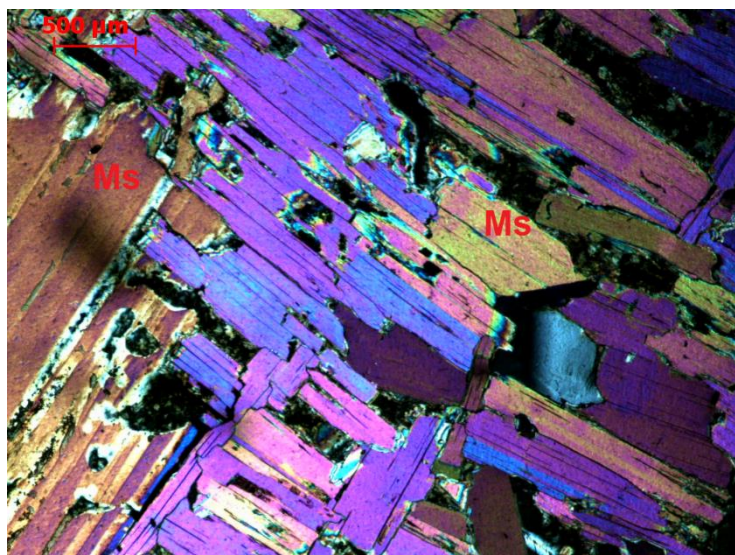


Figura 35 - AM3: Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida em nicóis cruzados. Placas de moscovite sem alteração, fraturação ou deformação, tratando-se de moscovite magmática.

4.2.2 AM6 (110 m; 4453/110 ppm WO_3)

Esta amostra provou que era vital um estudo mais detalhado e por isso foi estudada em microscopia. Para tal foram elaboradas quatro lâminas delgadas polidas desta amostra:

- lâmina A é essencial realçar que enquanto o feldspato potássico está instável, e, por isso, a alterar para um produto amarelado com aspeto sujo, Fig. 36, é possível encontrar cristais de albite estáveis e sem qualquer tipo de deformação aparente, Fig. 37. Tal indica que o campo de estabilidade da albite não foi perturbado durante os processos a que a brecha esteve sujeita. A esfalerite, Fig. 38, foi estudada em microscopia eletrónica. A esfalerite revelou-se ser a variedade marmatite e no seu interior foram identificados diversos minerais, incluindo apatite e sulfuretos compostos (nos bordos é um sulfureto de prata e cobre e no núcleo é um sulfureto de zinco e cádmio), Fig. 39. Nesta lâmina, com o recurso ao microscópio eletrónico de varrimento, foi ainda possível identificar cristais de monazite e de cassiterite, sendo esta última de pequenas dimensões ($<10\mu\text{m}$), Fig. 40.

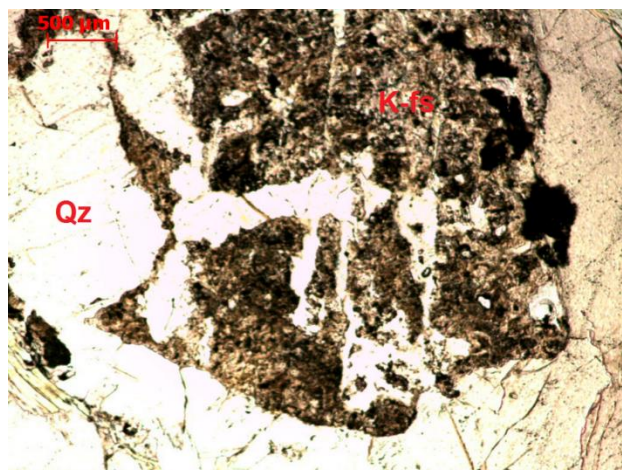


Figura 36 – AM6_A Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida em nicóis paralelos. Feldspato potássico instável em contato com quartzo. Nesta figura é possível observar a sericitização de feldspato magmático.

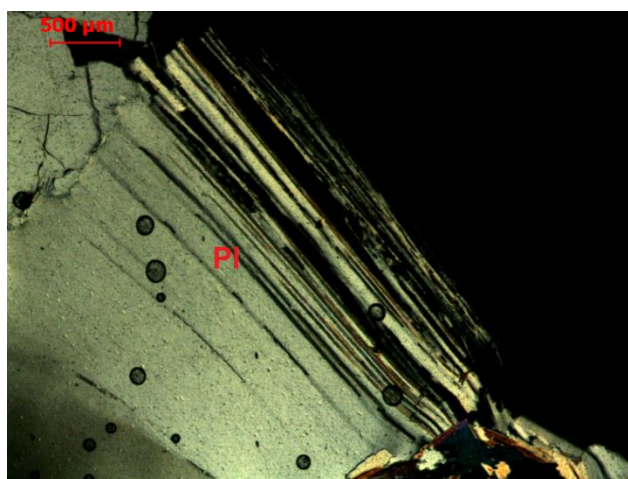


Figura 37 – AM6_A Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida em nicóis cruzados. Plagioclase (albite) estável no bordo da lâmina em contato com quartzo.

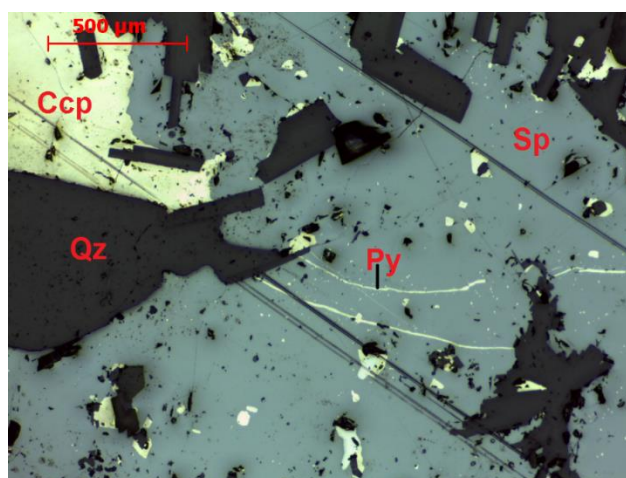


Figura 38 – AM6_A Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida em nicóis paralelos. Zona de estudo ao microscópio eletrónico com quartzo, esfalerite, pirite e calcopirite.

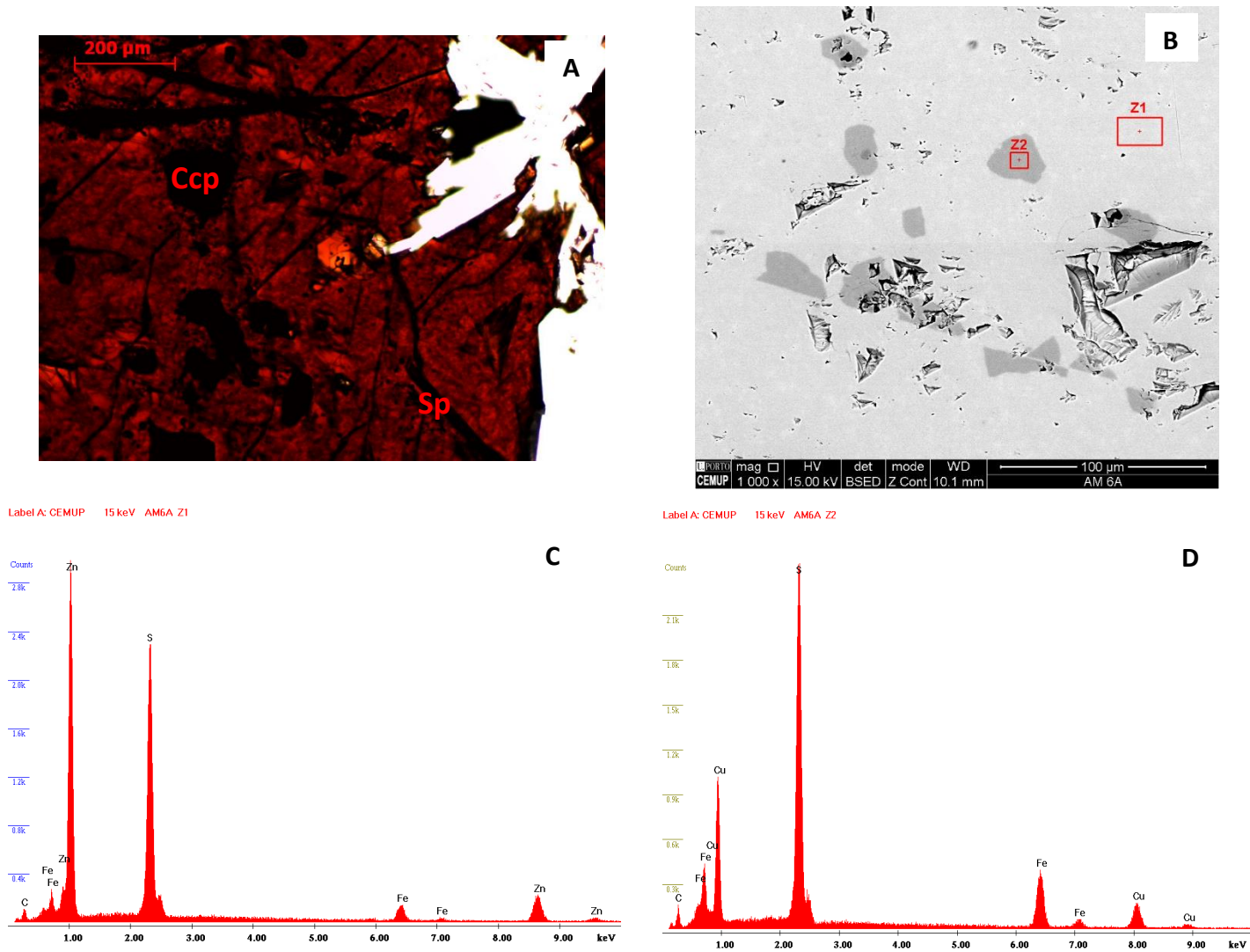


Figura 39 - Análise da esfalerite. A) imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida nicóis paralelos; B) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; C) espectro EDS confirmando que se trata da variedade de marmatite; D) espectro EDS confirmando a presença de calcopirite inclusa na marmatite.

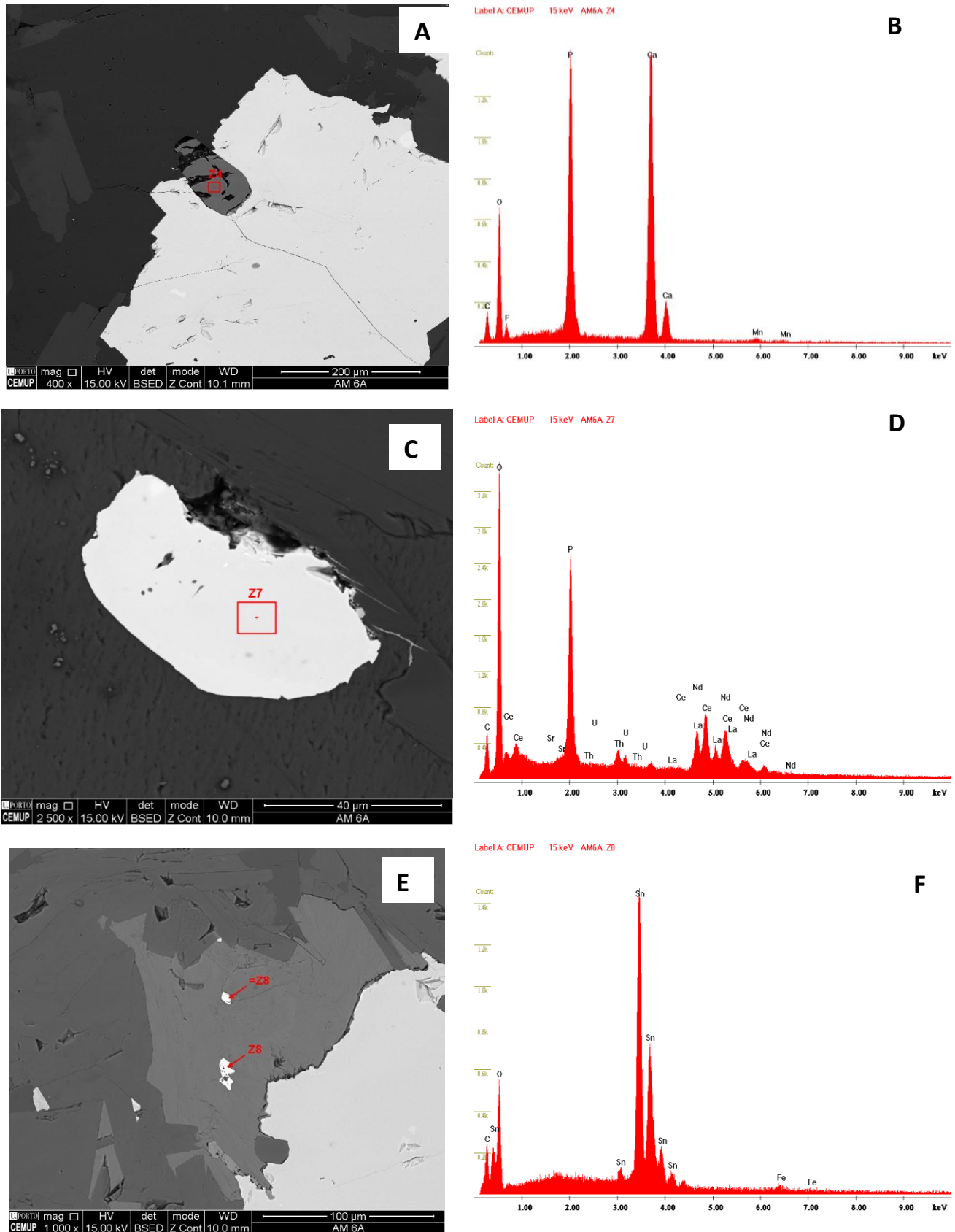


Figura 40 – A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS que confirma a apatite; C) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; D) Espetro EDS que confirma a presença de monazite; E) imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; F) Espetro EDS que confirma a presença de cassiterite.

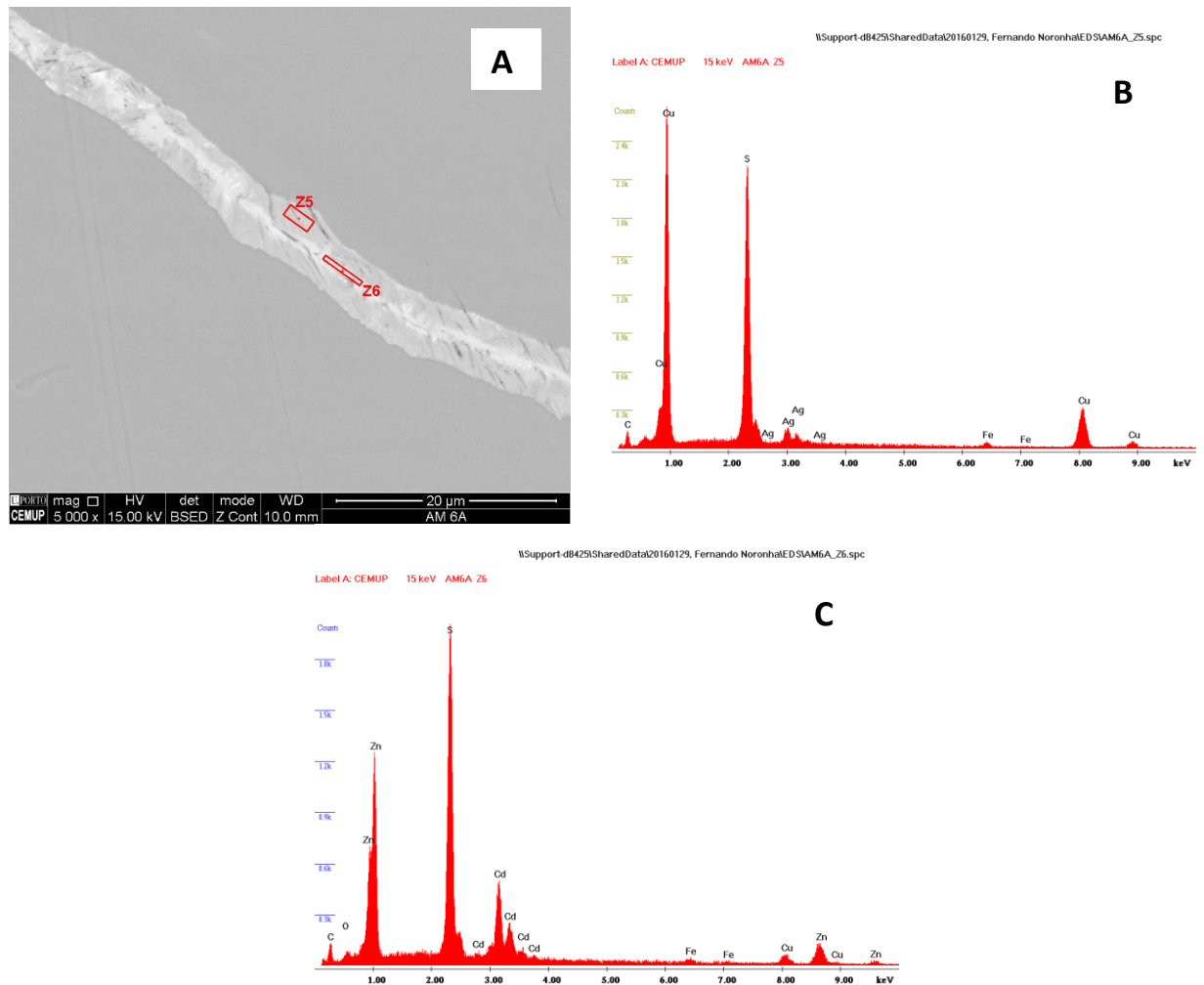


Figura 41 - A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS com sulfureto de prata e cobre; C) Espetro EDS com sulfureto de zinco e cádmio.

- lâmina B existem diversos cristais anédricos de calcopirite onde os bordos possuem alteração supergénica para covelite, Fig. 43. Nesta amostra existe também um alinhamento de moscovite em contacto com a matriz de quartzo e sericite, Fig. 42. Este alinhamento trata-se possivelmente de um elemento xistento de pequenas dimensões;

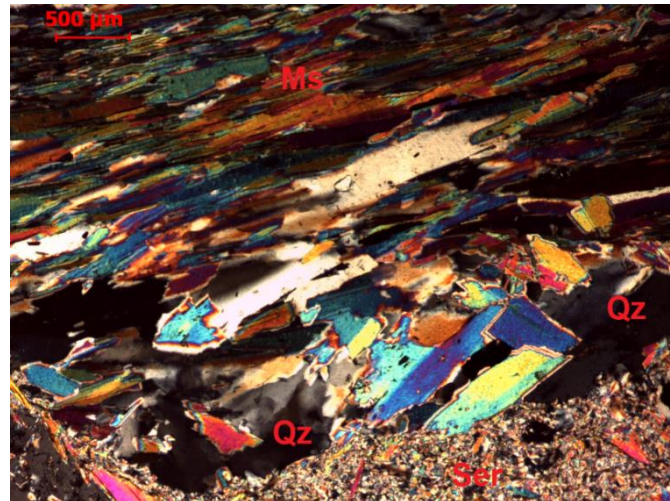


Figura 42 – Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis cruzados onde é possível observar o alinhamento de micas num elemento xistento em contato com a matriz de sericite e quartzo.

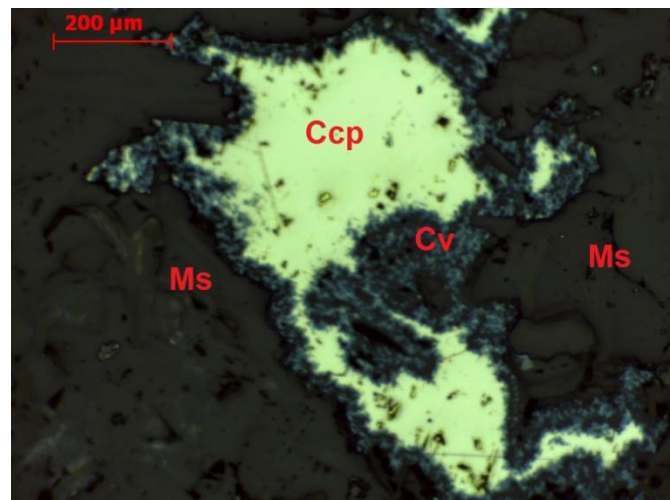


Figura 43 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Cristais de calcopirite com alteração supergénica para covelite.

- lâmina C o que realça em relação às outras lâminas desta amostra é a presença de um elemento rochoso constituído por quartzo, micas e óxidos, Fig. 44;

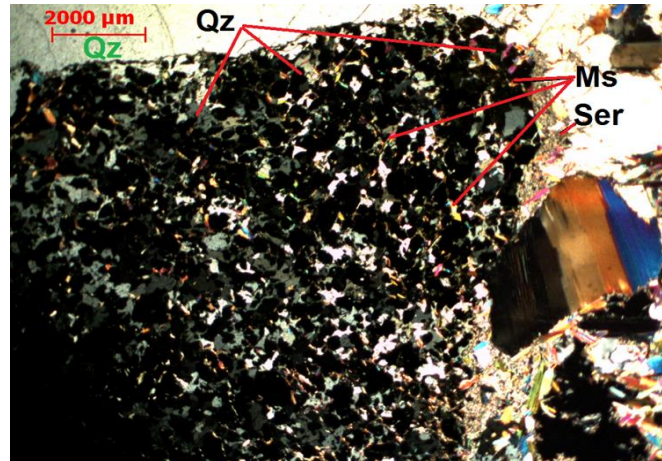


Figura 44 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis cruzados. Fragmento de rocha com quartzo, moscovite e sericite. Presença de epidoto.

- lâmina D possui diversos óxidos de ferro, bem como associações de sulfuretos, Fig. 45, na sua maioria calcopirite, pirite e esfalerite, sendo que a distribuição destes não aparenta obedecer a qualquer padrão.

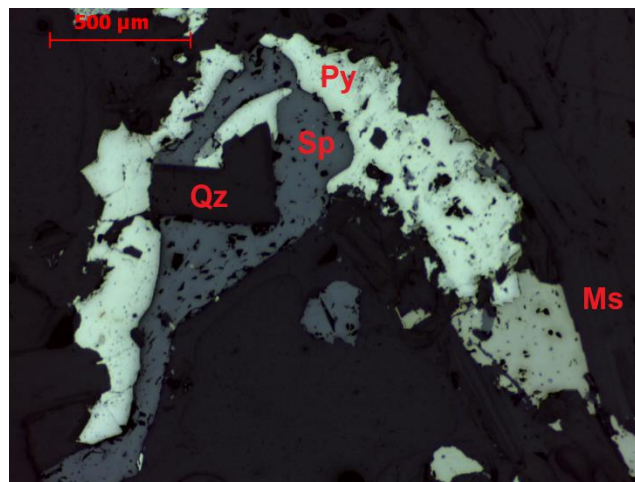


Figura 45 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Associação de sulfuretos com quartzo e moscovite.

4.2.3 AM7 (132 m; 12616 ppm WO_3)

Nesta amostra foi feita uma lâmina delgada polida para estudo microscópico. Assim tornou-se possível observar um cristal alongado de volframite, Fig. 46, com pirite no seu interior, provavelmente em espaços vazios da volframite. A pirite também ocorre sob a forma de pequenos filonetes entre as placas de moscovite, Fig. 47.

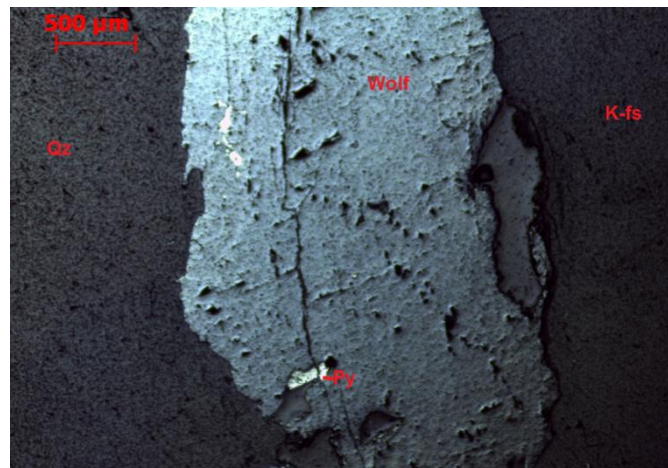


Figura 46 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Cristal alongado de volframite com cristais de pirite em espaços vazios encontra-se pirite.

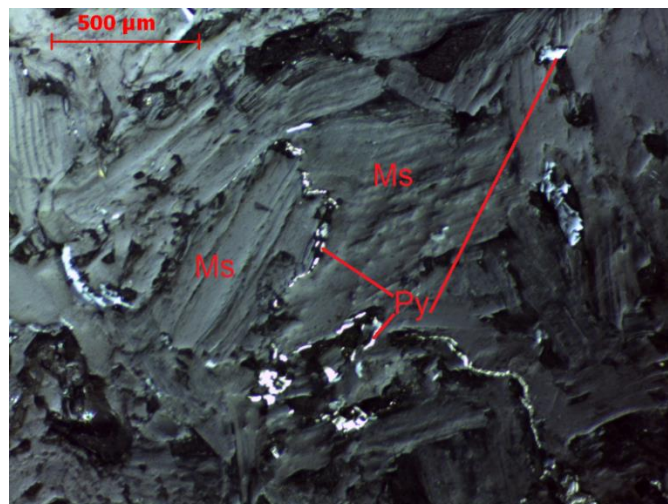


Figura 47 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Filonetes de pirite entre placas de moscovite.

4.2.4 AM8 (140,8 m; 568 ppm WO_3)

Esta amostra deu origem a duas lâminas delgadas polidas para um estudo microscópico:

- lâmina A permite o reconhecimento de cristais de biotite estáveis embora alguns cristais mais próximos aos opacos seja visível um início de cloritização, Fig. 48. Alguma da calcopirite presente nesta amostra, também, tem evidências de alteração supergénica para covelite. Alguns dos opacos presentes nesta lâmina não foram possíveis de identificar em microscopia ótica e por isso foram estudadas em microscopia

eletrónica de varrimento. Foi, então, possível identificar um mineral azulado em microscopia ótica de reflexão, em nicóis paralelos e normalmente associado a micas e, outras vezes, de pirite. Este mineral foi identificado como um óxido de titânio principalmente sob a forma de bastonetes. Trata-se, então, de ilmenite, Fig. 50. Também foi possível identificar uraninite, Fig. 53. Nesta amostra foi possível identificar volframite a ocorrer sob a forma de palhetas, Fig. 49. Aqui, também, foram identificados cristais de um fosfato de terras raras, com uma composição química correspondendo a monazite, estando esta normalmente associada a biotite, Fig. 51. Ainda é de salientar a presença de zircão zonado com pelo menos quatro orlas de crescimento, Fig. 52;

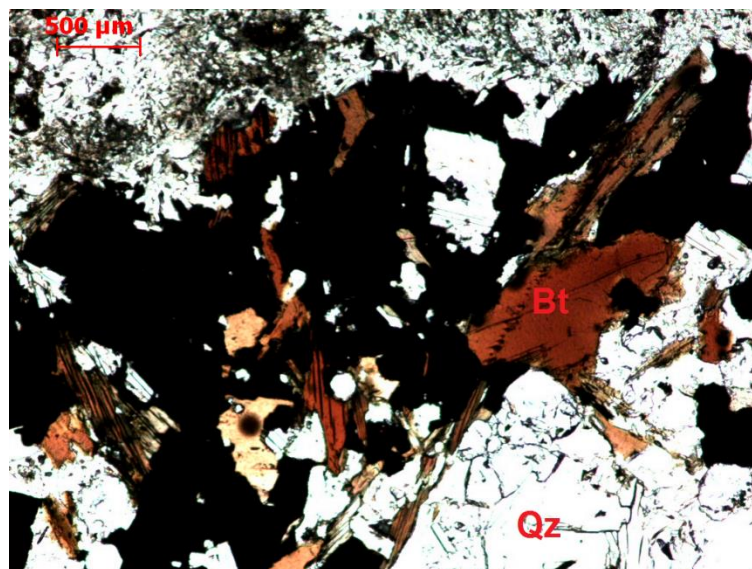


Figura 48 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis paralelos. Biotite estável, embora nalguns cristais de biotite haja indícios de cloritização. Trata-se contudo de uma biotite hidrotermal.

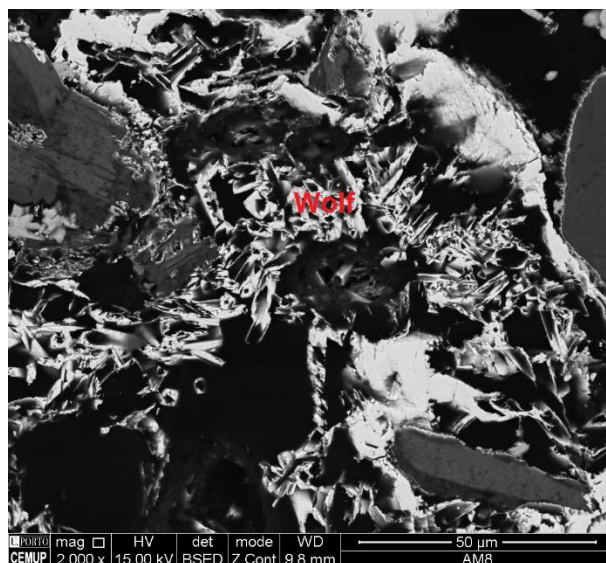
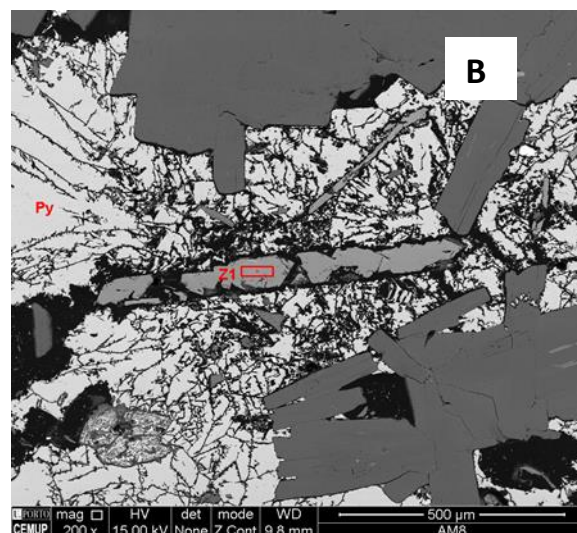
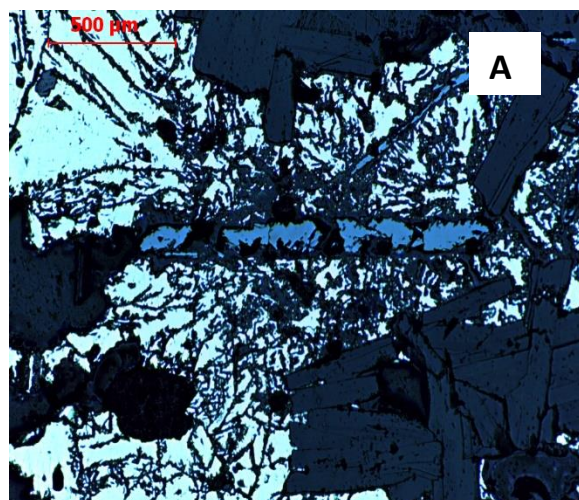
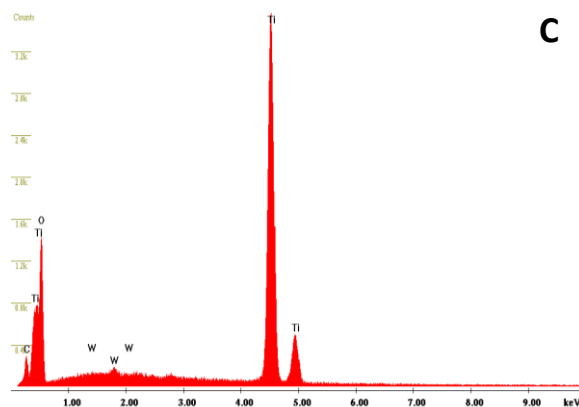


Figura 49 - Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento. Volframite em palhetas analisada em MEV.



Label A: CEMUP 15 keV AM8 Z1



C

Figura 50 – A) Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos Mineral azulado. B) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; C) Espetro EDS identificando assim o mineral como ilmenite.

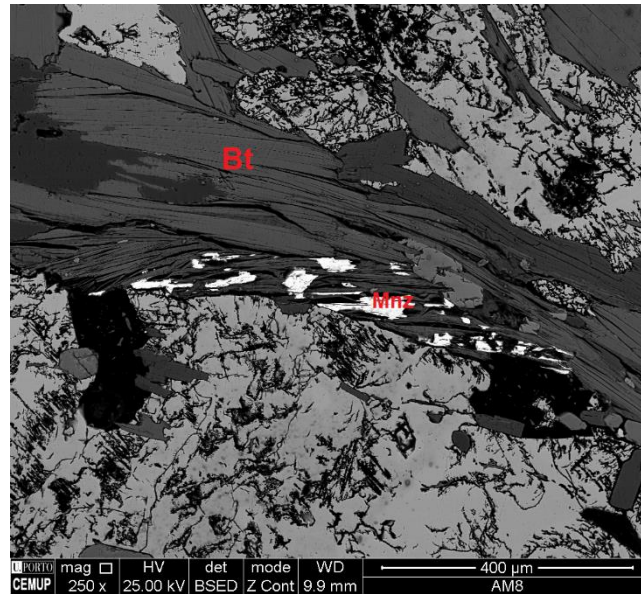


Figura 51 - Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento. Cristais de monazite no contato com cristal de biotite.

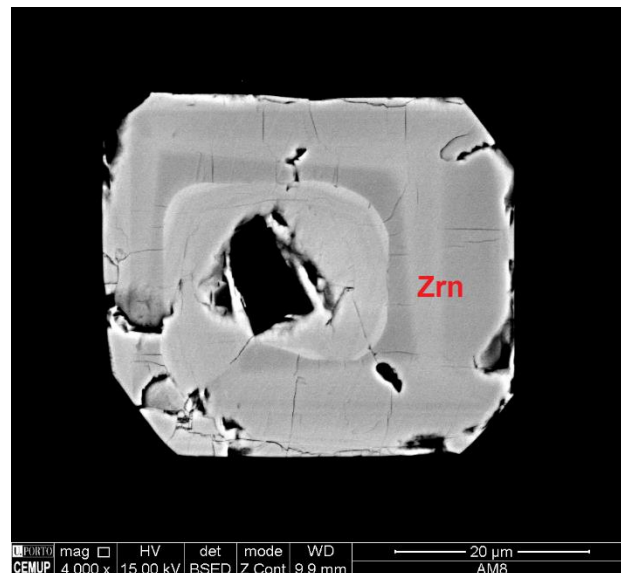


Figura 52 - Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento. Cristal zonado, com quatro orlas de crescimento.

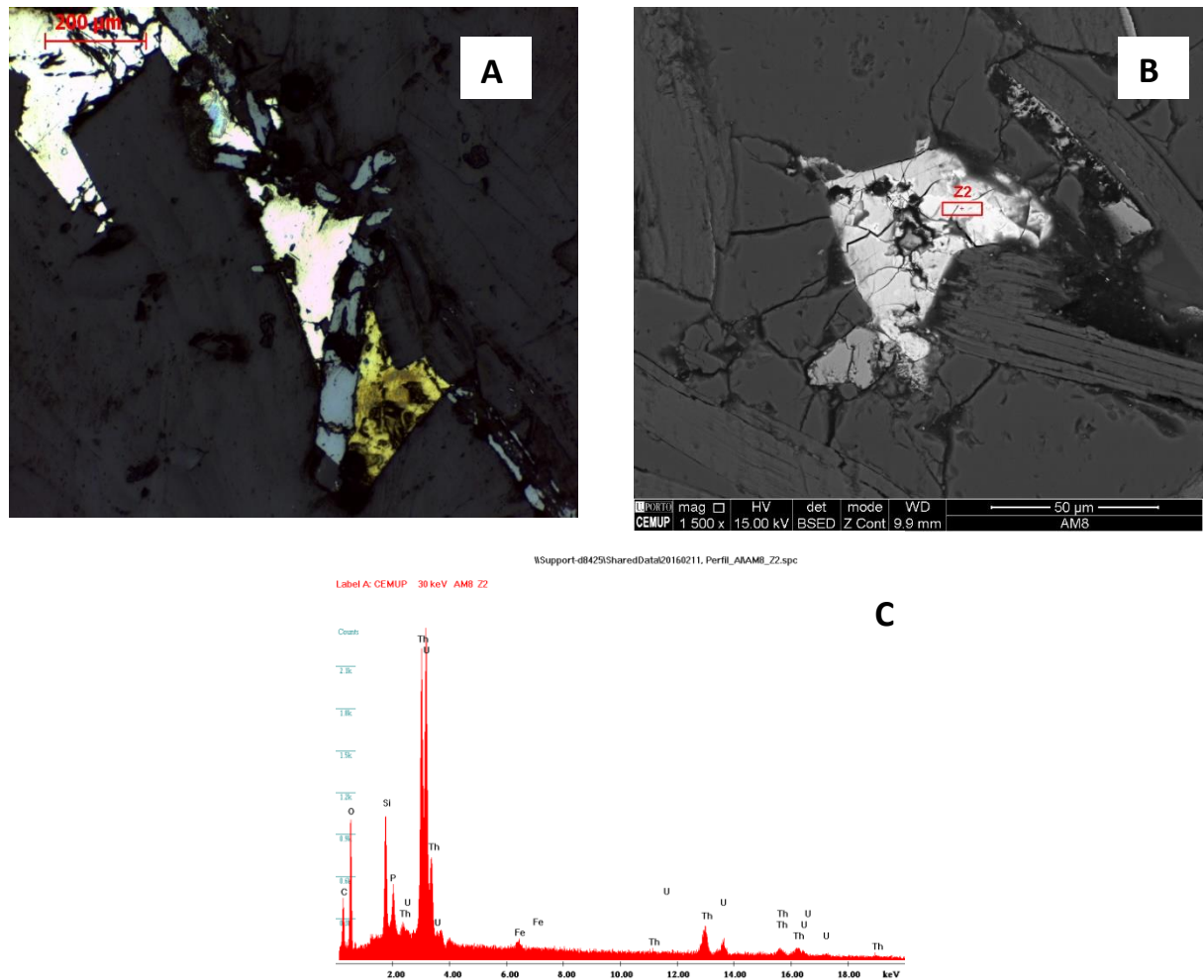


Figura 53 – A) Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida em nicóis paralelos; B) Imagem ao microscópio eletrônico de varrimento; C) Espetro EDS permitindo identificar como uraninite-thorianite.

- lâmina B consolidou a presença da biotite na amostra, bem como os óxidos de ferro e sulfuretos, a pirite e a calcopirite, Fig. 54;

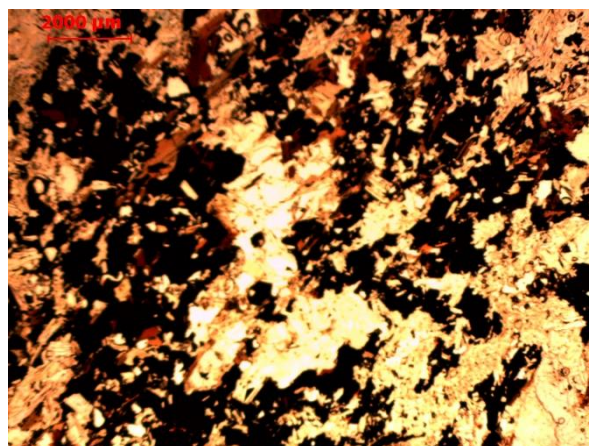


Figura 54 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis paralelos, óxidos de ferro com produto amarelado, produto de alteração de feldspato potássico.

- nesta amostra podemos observar uma paragénesese de biotite ± zircão ± ilmenite ± volframite em palhetas o que indica uma paragénesese hidrotermal estável de alta temperatura.

4.2.5 AM9 (146,5 m; 4510 ppm WO_3)

A análise microscópica revelou em microscopia ótica de transmissão em nicóis paralelos esfalerite com reflexões internas vermelhas, Fig. 55, e micas com dobramento bem marcado, Fig. 56. Nesta lâmina é possível ainda identificar pirite e calcopirite, normalmente espacialmente próximas à esfalerite.

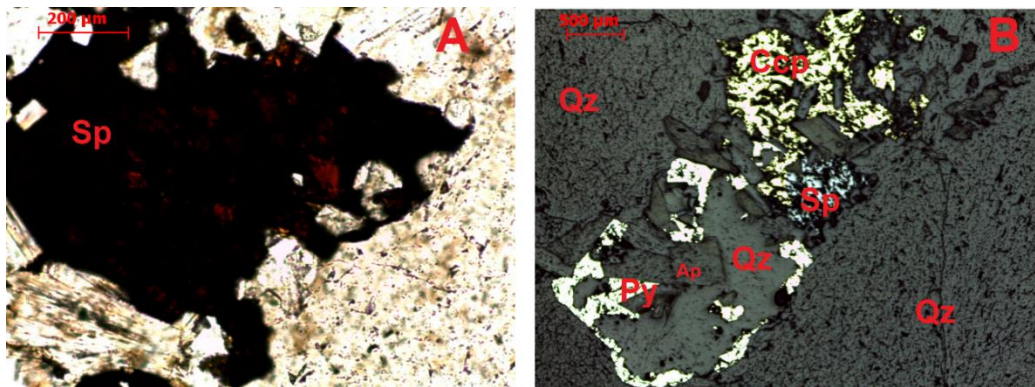


Figura 55 - Associação de sulfuretos (calcopirite, pirite, esfalerite) com quartzo. A) Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis paralelos; B) Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e em nicóis cruzados.

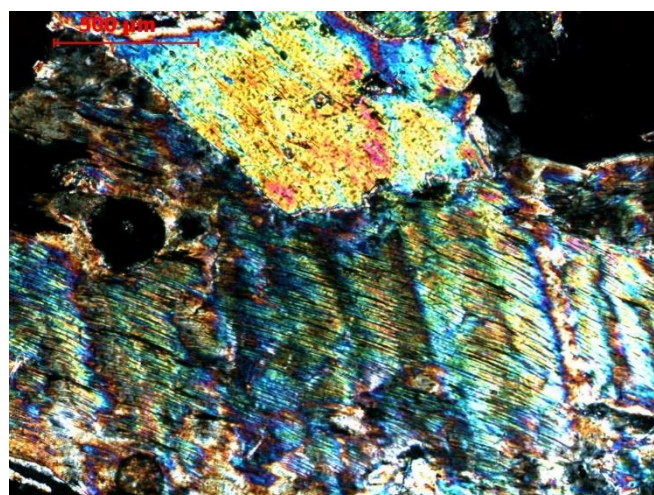
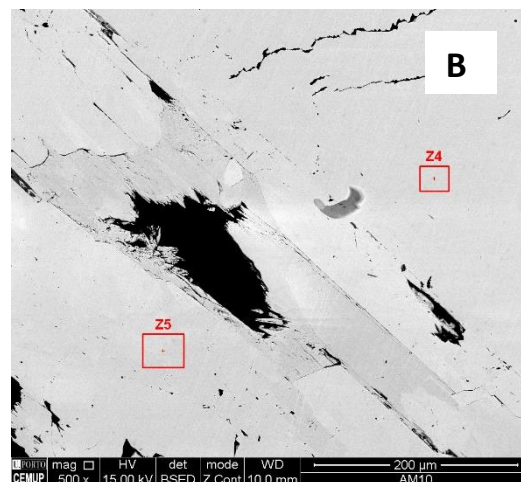
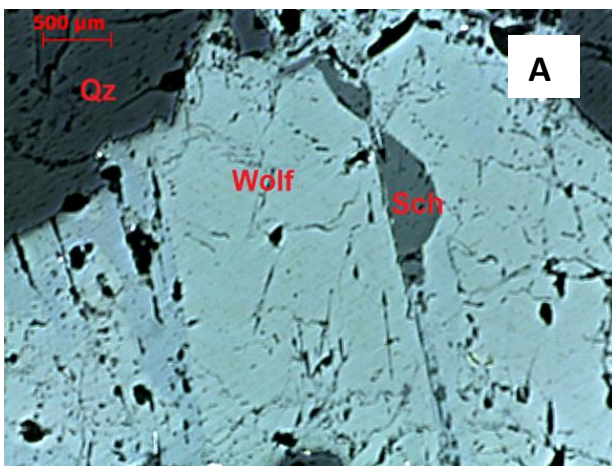


Figura 56 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e com nicóis cruzados. Este cristal trata-se de um plano de corte perpendicular à estratificação da moscovite.

4.2.5 AM10 (155,1 m; 5590 ppm WO_3)

Para o estudo microscópico foram utilizadas quatro lâminas delgadas polidas, sendo duas a repetição das outras duas:

- lâmina A permite a identificação de volframite, onde, por vezes, é possível observar alterações na composição desta, bem como a ocorrência de scheelite aproveitando a clivagem da volframite. Nos bordos de alguns cristais de volframite é possível encontrar alguns cristais de pirite, Fig. 57. Esta, por vezes, aparece no interior da volframite aproveitando espaços vazios. Noutros casos é possível encontrar pirite a envolver cristais de volframite de menor dimensão, Fig. 58. A microscopia eletrónica de varrimento permitiu reconhecer uma variação composicional na volframite existindo ferberite e volframite, termo restrito. Nesta lâmina foi possível ainda identificar um mineral rico em nióbio e tungsténio que, neste caso, aparece associado à volframite, especialmente à sua clivagem, Fig. 59 e 60. Num cristal de apatite foi possível identificar a presença de monazite, xenótimo, zircão, Fig. 61 e um cristal de dimensões muito reduzidas de uraninite-torianite, Fig. 62. Nesta lâmina são visíveis nos bordos e nas clivagens da biotite cristais de ilmenite, Fig. 63;



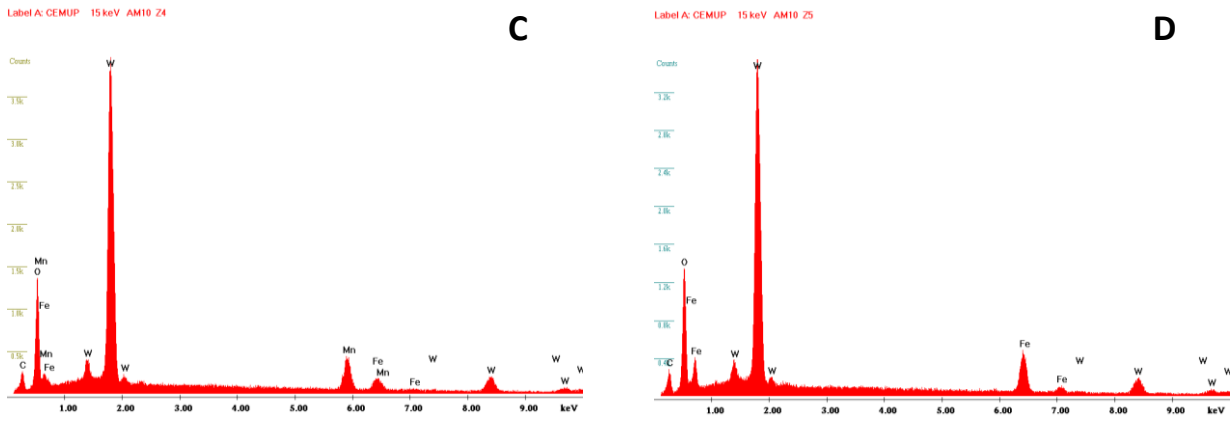


Figura 57 – A) Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Variação de composição no cristal de wolframite com scheelite no seu interior. B) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; C) Espetro EDS de wolframite; D) Espetro EDS de ferberite.

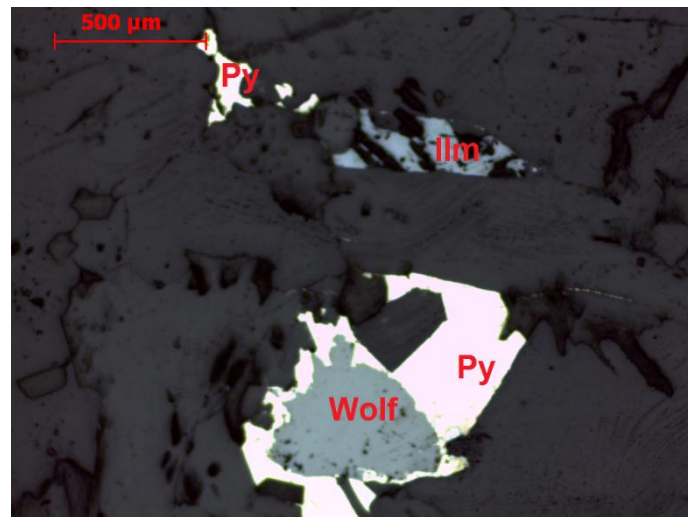


Figura 58 - Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz refletida e com nicóis paralelos. Pirite a rodear um cristal de wolframite.

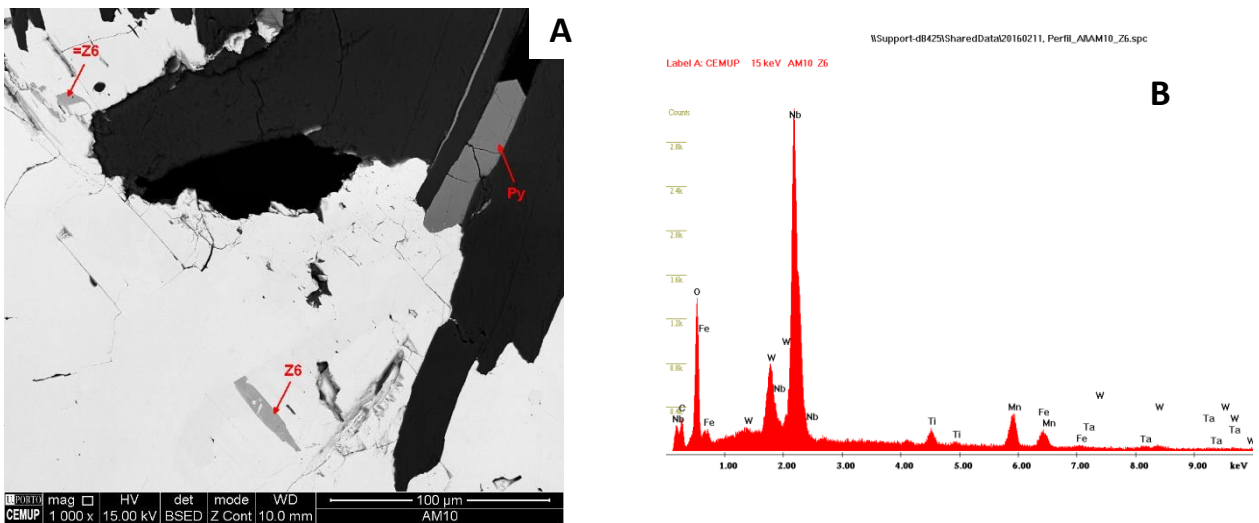


Figura 59 – A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento. B) Espetro EDS que permite identificar um mineral de nióbio e tungstênio associado a wolframite.

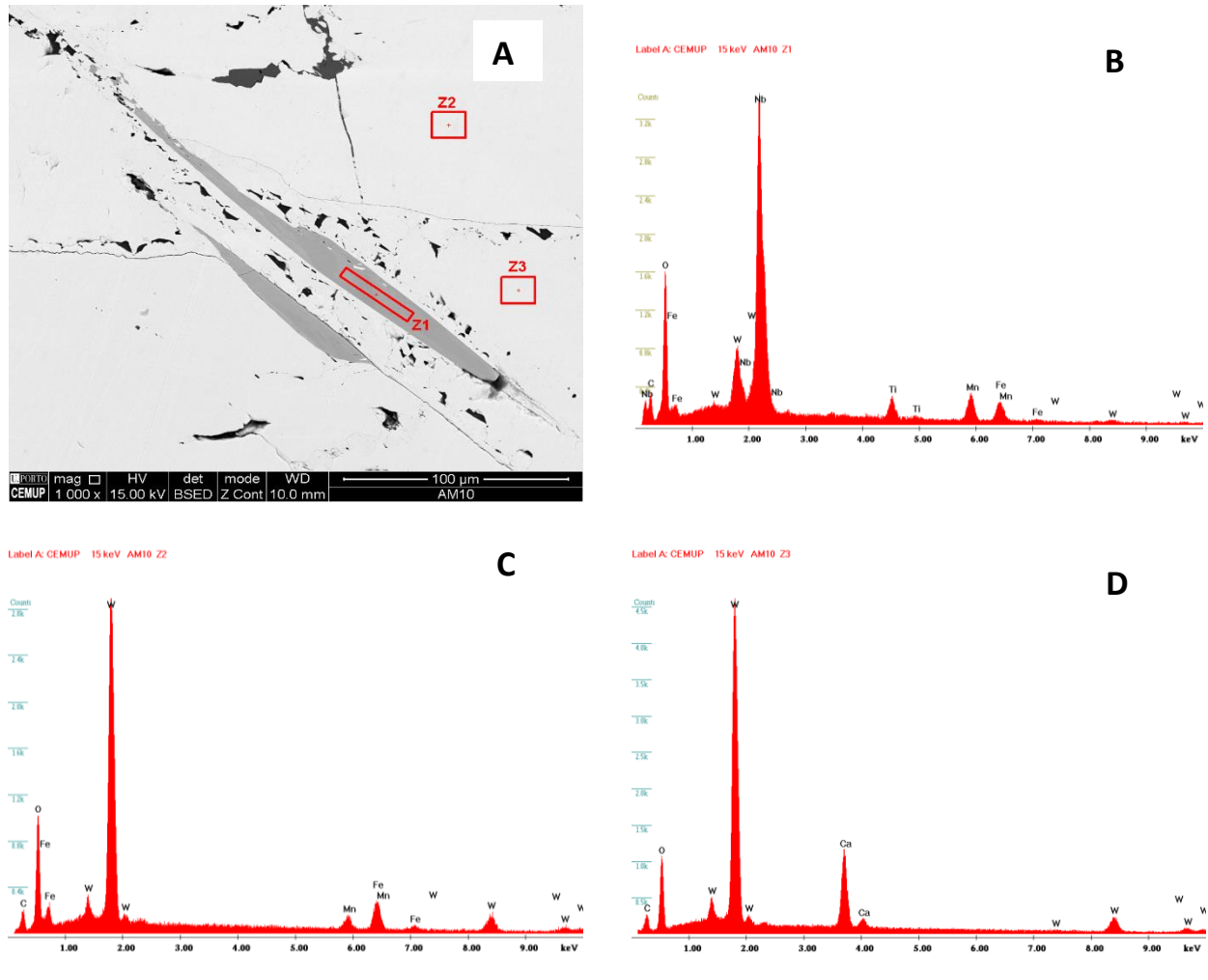


Figura 60 - Associação entre wolframite, scheelite e mineral rico em nióbio e tungstênio. A) Imagem ao microscópio eletrônico de varrimento; B) Espetro EDS do mineral com nióbio e tungstênio; C) Espetro EDS de wolframite; D) Espetro EDS de scheelite.

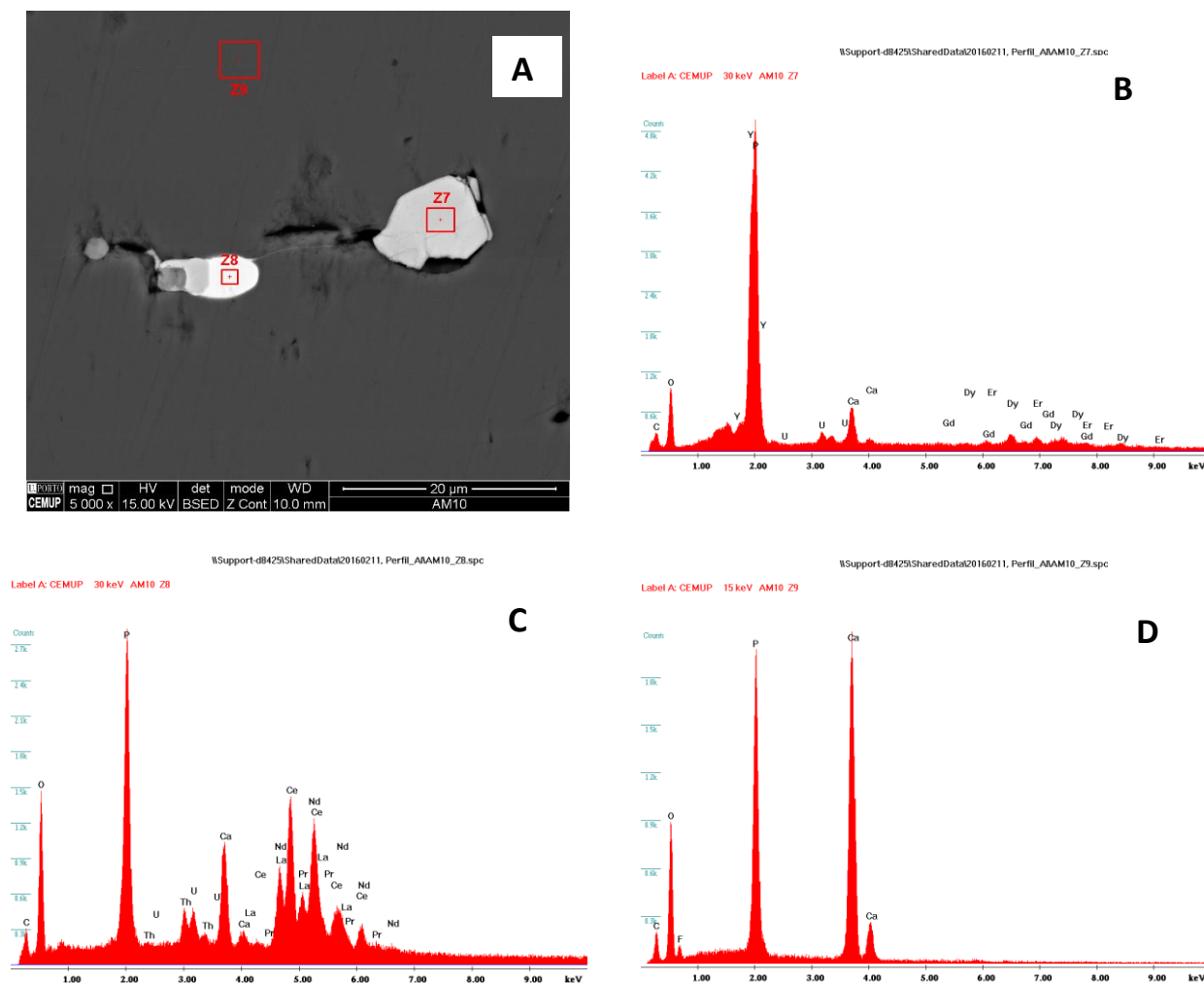


Figura 61 - Na apatite aparecem cristais de xenótimio e monazite. A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS monazite; C) Espetro EDS de xenótimio; D) Espetro EDS de apatite.

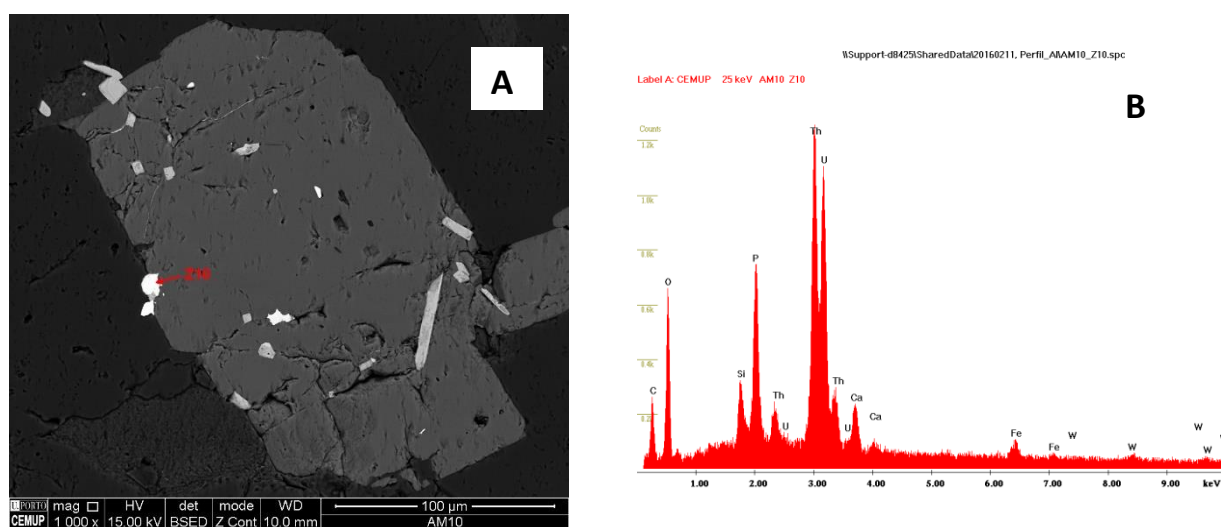


Figura 62 - Presença de uraninite em apatite. A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS mineral uraninite.

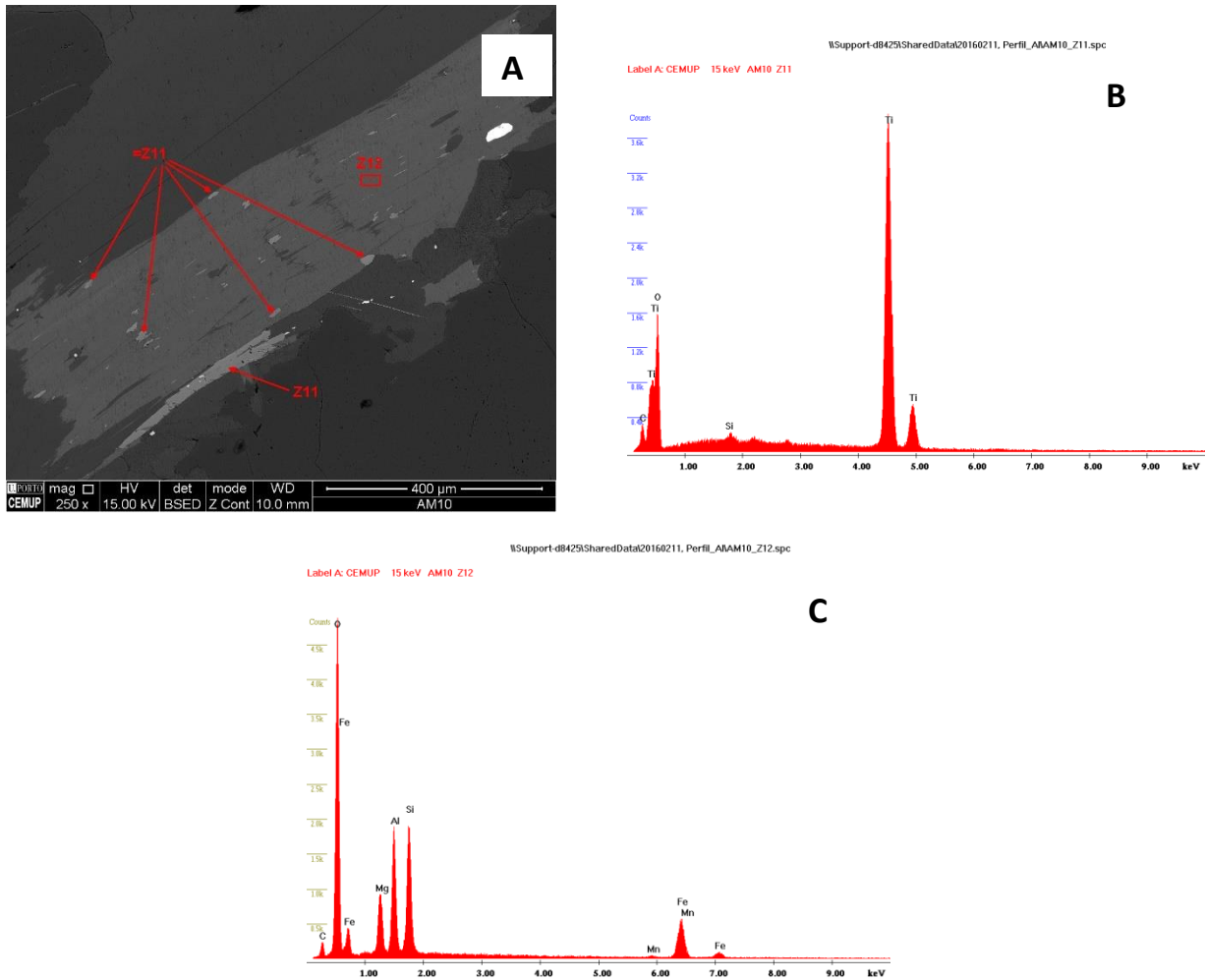


Figura 63 - Ilmenite nos bordos e a aproveitar as clivagens da biotite. A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS do mineral com ilmenite; C) Espetro EDS de biotite.

- lâmina B permite identificar clorite de alteração da biotite com ilmenite no seu interior, Fig. 65. Também aqui é possível encontrar a sericite como matriz, preenchendo espaços, inclusive entre fraturas de placas de moscovite, Fig. 64;

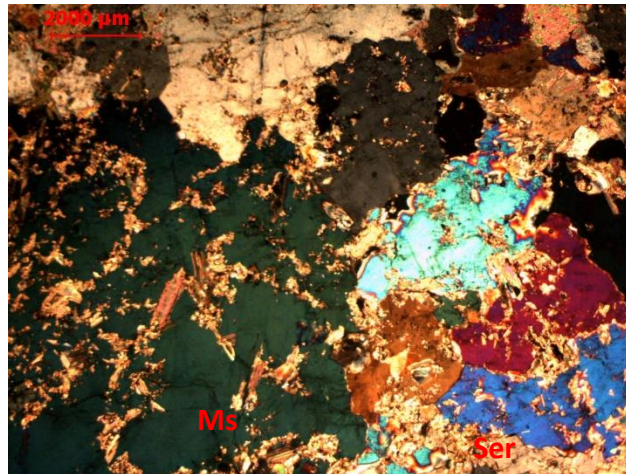


Figura 64 - Moscovite e sericite. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis cruzados. Observam-se também alguns fosfatos.

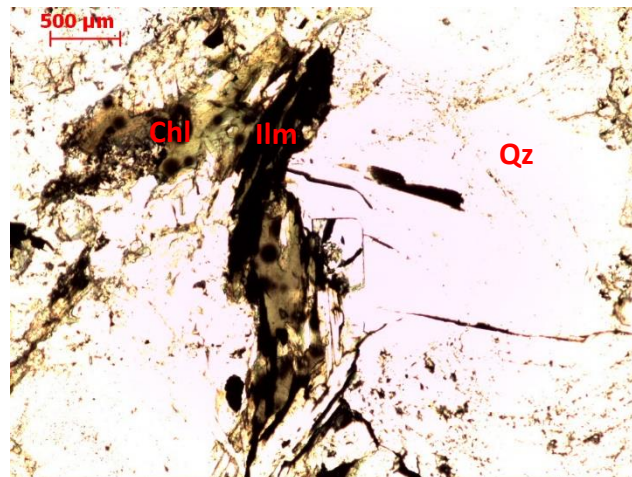


Figura 65 - Clorite de alteração de biotite com presença de ilmenite. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.

- lâmina C, permite o estudo de cristais de apatite euédricos e límpidos, Fig. 66. Aqui, ainda é possível identificar uma relíquia de biotite a alterar para clorite, Fig. 68. Em microscopia eletrónica de varrimento foi possível identificar uma intercalação entre clorite e óxidos de ferro, Fig. 70, sendo que na biotite é possível distinguir um mineral rico em titânio e tungsténio, Fig. 69, e, também, placas de moscovite. No seguimento desta associação encontra-se um filonete de pirite com cassiterite, que nos mostra a existência de um estado de óxidos posterior aos sulfuretos, aparecendo aqui associado à pirite um cristal muito reduzido de galena e ainda um cristal de bismuto nativo, Fig. 71. É ainda de salientar a presença de monazite e um fosfato de tório e urânio, ambos de pequena dimensão, Fig. 72. Aqui é ainda possível distinguir ferberite, volframite e scheelite. Aqui, novamente associado à volframite, aparece o mineral rico em tungsténio, nióbio e titânio, Fig. 73;

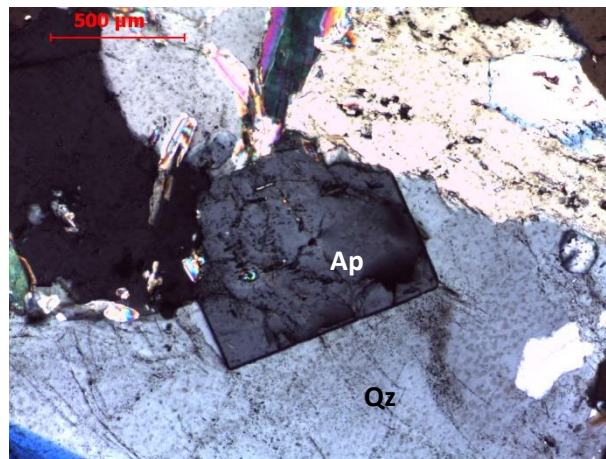


Figura 66 - Apatite euédrica no quartzo. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis cruzados.

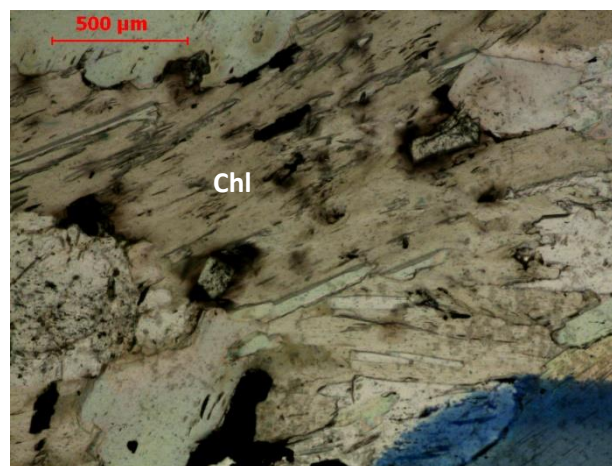


Figura 67 - Clorite com óxidos de ferro nos bordos. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.

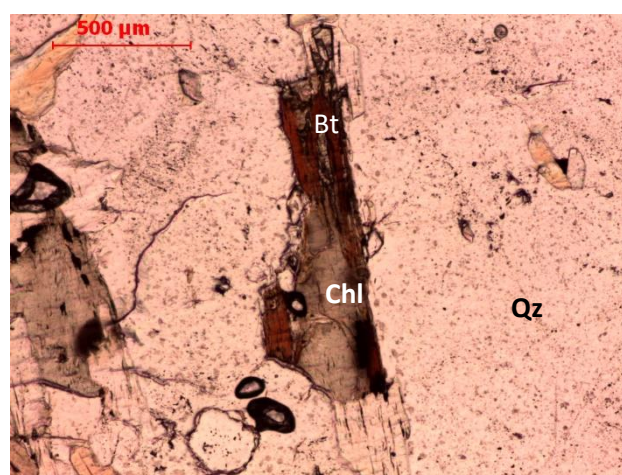


Figura 68 - Biotite a alterar para clorite. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.

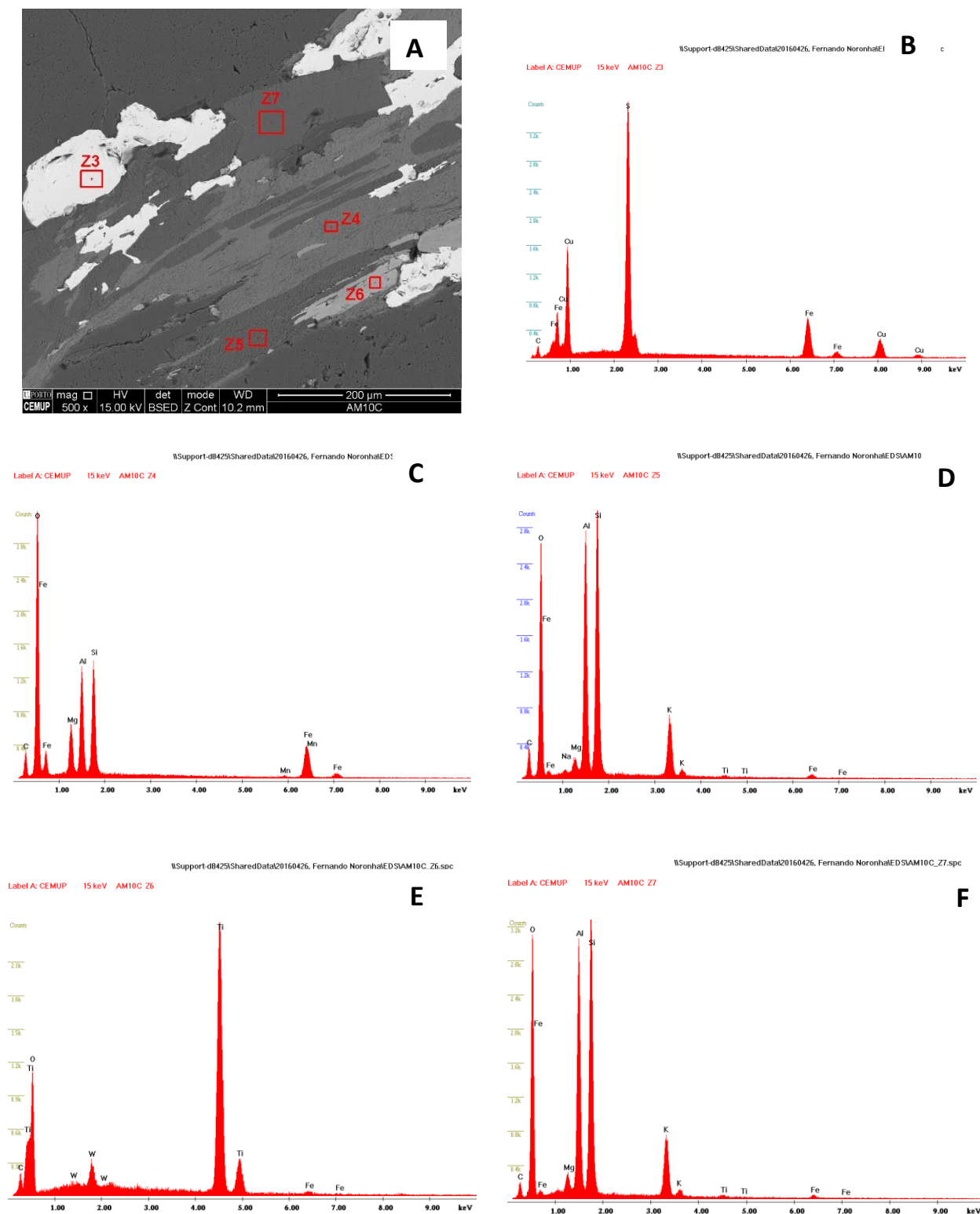


Figura 69 - Análise de secção ao microscópio eletrónico com resultados de moscovite, biotite, mica verde, pirite e mineral com tungsténio e titânio. A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS com pirite; C) Espetro EDS de um cristal de clorite; D) Espetro EDS de um cristal de biotite; E) Espetro EDS de um mineral com titânio e tungsténio; F) Espetro EDS com moscovite.

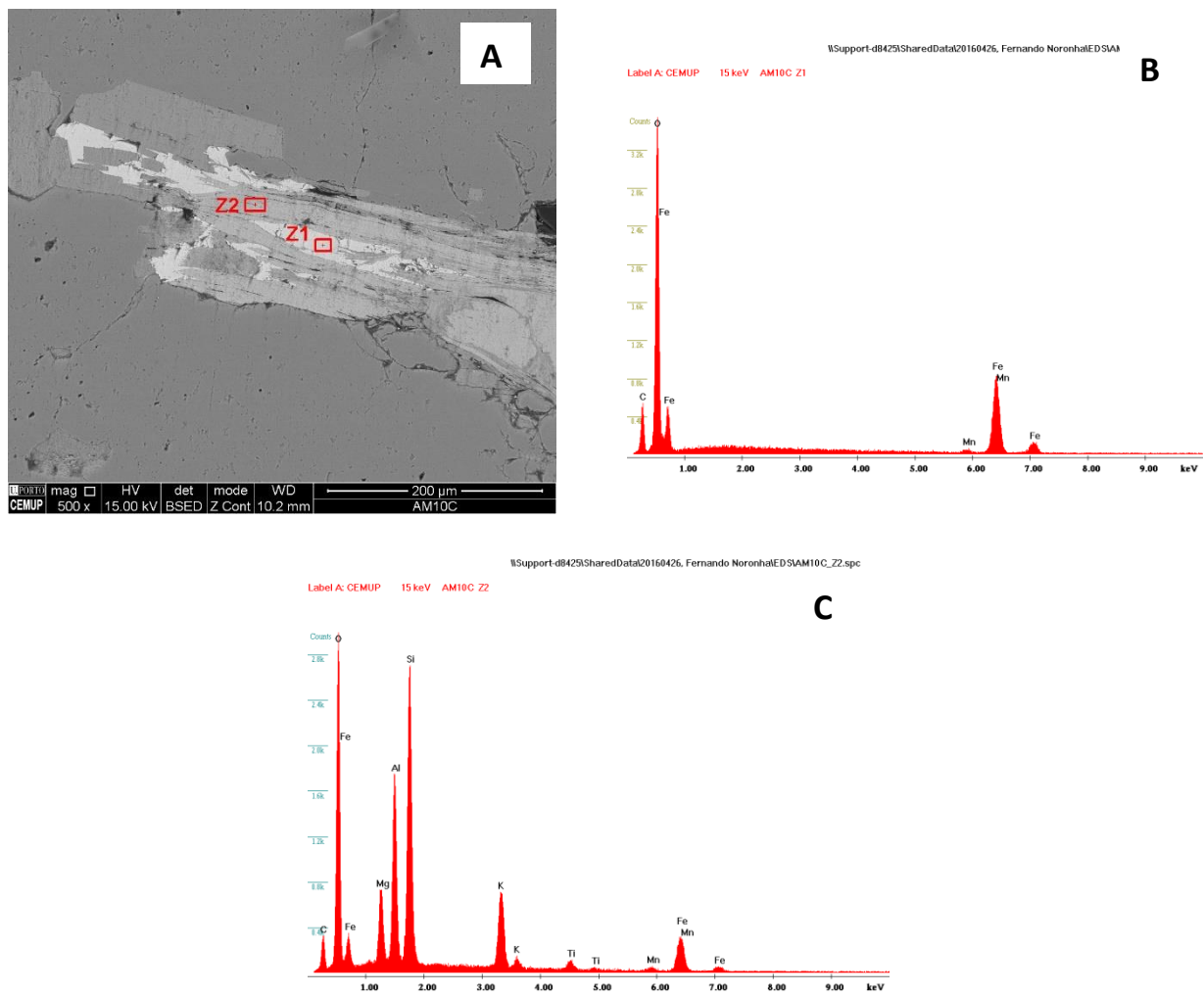


Figura 70 - Associação de óxidos de ferro e clorite. A) Imagem de microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS de óxidos de ferro; C) Espetro de EDS de um cristal de clorite.

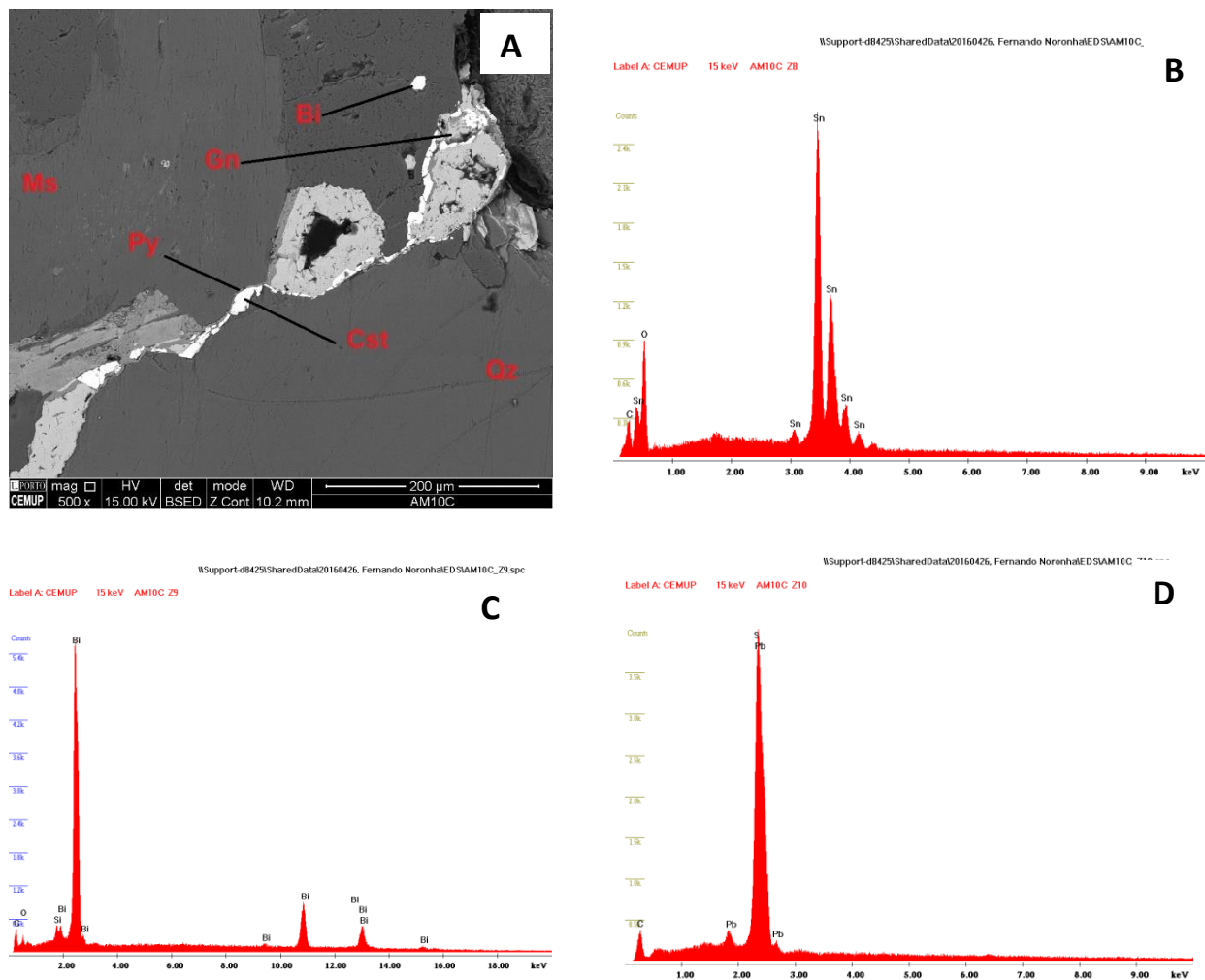


Figura 71 - Presença de um estágio de óxidos, cassiterite, posterior aos sulfuretos com presença de galena e bismuto nativo. A) Imagem ao microscópio eletrónico de varrimento; B) Espetro EDS de cristal de cassiterite; C) Espetro EDS de bismuto nativo; D) Espetro EDS de cristal de galena.

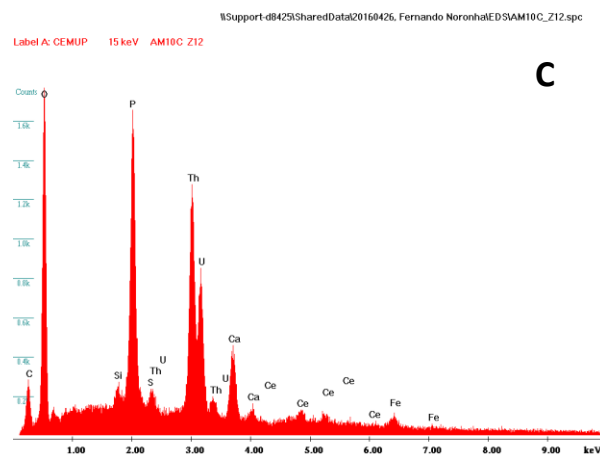
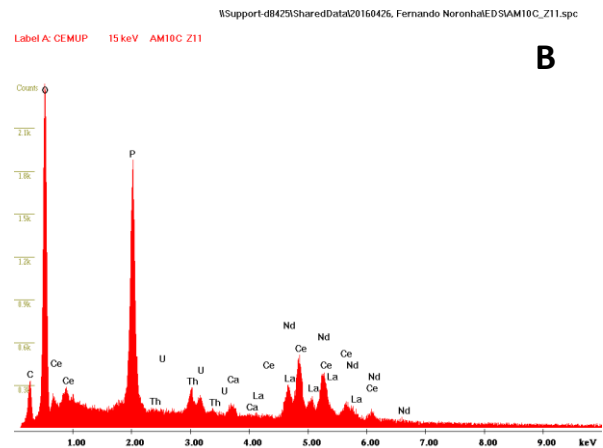
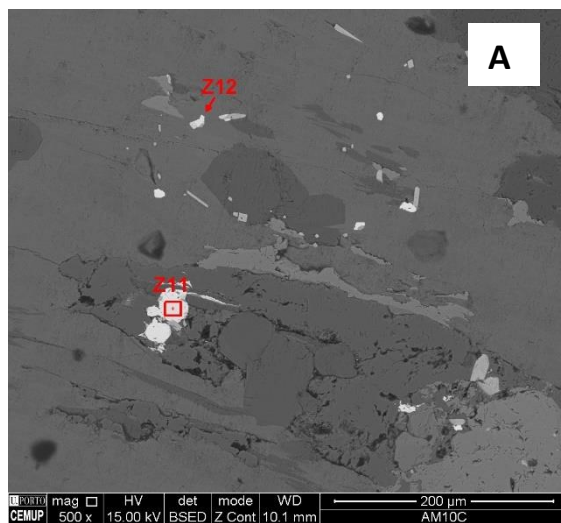


Figura 72 - Cristais de monazite e fosfato com tório e urânio. A) Imagem obtida em microscopia eletrônica de varrimento; B) Espectro EDS de um cristal de monazite; C) Espectro EDS de um cristal de fosfato de tório e urânio.

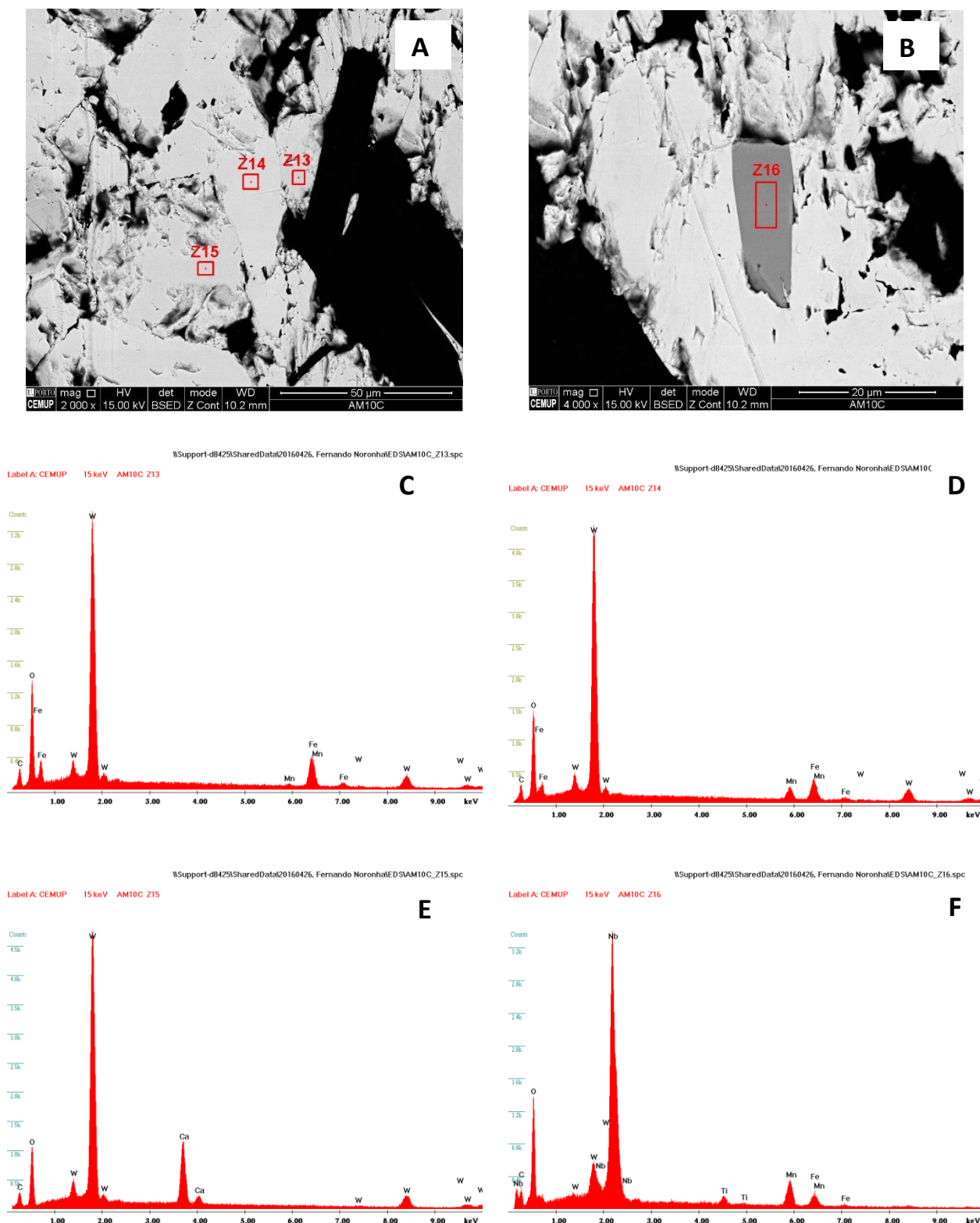


Figura 73 - Secção da lâmia onde aparece ferberite, scheelite, wolframite e mineral com tungstênio, nióbio e titânio. A) Imagem obtida em microscopia eletrônica de varrimento; B) Imagem obtida em microscopia eletrônica de varrimento; C) Espetro EDS de um cristal de wolframite; D) Espetro EDS de um cristal de wolframite; E) Espetro EDS de um cristal de scheelite; F) Espetro EDS de um cristal de um mineral de nióbio e tungstênio.

- lâmina D foi possível estudar de forma mais clara os sulfuretos presentes, sendo estes na maior percentagem pirite e calcopirite. Nesta lâmina, tal como na lâmina A, é possível encontrar pirite a envolver a volframite, Fig. 74, bem como volframite com variações composicionais no seu interior. Também aqui é possível encontrar ilmenite. Assim, esta lâmina foi estudada à microsonda de forma a detetar as variações de composição da volframite, bem como o estudo dos óxidos de titânio e da scheelite:
- os óxidos de titânio apresentam como elementos de maior percentagem: titânio, nióbio, tungsténio, bário, silício, ferro, tântalo e estanho;

Tabela 4 - Análise à microsonda dos óxidos de titânio.

Elemento	Análise 1
	Wt. %
P ₂ O ₅	0,010
Na ₂ O	0,021
SO ₃	0,010
BaO	0,320
Bi ₂ O ₃	0,025
MgO	0,006
PbO	0,008
V ₂ O ₃	0,029
As ₂ O ₅	0,003
K ₂ O	0,018
Cr ₂ O ₃	0,015
CaO	0,045
Al ₂ O ₃	0,076
SnO ₂	0,095
FeO	0,268
ZnO	0,013
SiO ₂	0,341
TiO ₂	99,672
NiO	0,025
Ta ₂ O ₅	0,117
ZrO ₂	0,015
MnO	0,030
CuO	0,005
CoO	0,013
Nb ₂ O ₅	0,291
WO ₃	0,555
Total	102,023

- a scheelite apresenta como elementos de maior percentagem: bismuto, cálcio, ferro, nióbio e tungsténio;

Tabela 5 - Análise à microsonda da scheelite.

	Análise 1	Análise 2
Elementos	Wt. %	
P ₂ O ₅	0,037	0,040
Na ₂ O	0,030	0,014
SO ₃	0,057	0,073
BaO	0,018	0,018
Bi ₂ O ₃	0,074	0,139
PbO	0,007	0,001
As ₂ O ₅	0,004	0
K ₂ O	0	0,014
Cr ₂ O ₃	0,011	0
CaO	20,128	20,261
SnO ₂	0,0003	0
FeO	0,028	0,132
ZnO	0,052	0,034
SiO ₂	0,063	0,029
NiO	0,009	0,021
Ta ₂ O ₅	0,082	0,041
ZrO ₂	0,040	0,052
MnO	0,022	0,024
CoO	0,017	0,004
Nb ₂ O ₅	0,082	0,184
WO ₃	79,182	78,615
Total	100,220	100,049

- a wolframite apresenta como principais elementos: manganês, ferro, magnésio, nióbio e tungsténio.

Tabela 6 - Análise à microsonda da wolframite.

	Análise 1	Análise 2
Elementos	Wt. %	
P ₂ O ₅	0,045	0,017
Na ₂ O	0,016	0,017
SO ₃	0,055	0,060
BaO	0,027	0,058
Bi ₂ O ₃	0,047	0,031
MgO	0,100	0,076

Tabela 7 (Cont.) - Análise à microsonda da volframite.

PbO	0,009	0,046
V ₂ O ₃	0,005	0,000
As ₂ O ₅	0,004	0,000
K ₂ O	0,009	0,005
Cr ₂ O ₃	0,005	0,015
CaO	0,021	0,021
Al ₂ O ₃	0,001	0,001
SnO ₂	0,003	0,000
FeO	18,183	14,025
ZnO	0,052	0,055
SiO ₂	0,069	0,027
TiO ₂	0,003	0,000
NiO	0,022	0,029
Ta ₂ O ₅	0,049	0,016
ZrO ₂	0,055	0,071
MnO	6,090	10,225
CoO	0,014	0,016
Nb ₂ O ₅	0,337	0,305
WO ₃	73,639	74,776
Total	100	100,018

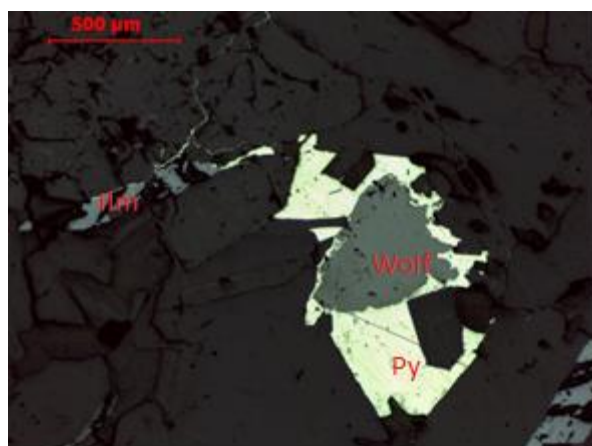


Figura 74 - Pirite a envolver a volframite. Imagem obtida em microscópio ótico polarizante em luz refletida e em nicóis paralelos.

4.2.5 AM11 (173,1 m; 17600 ppm WO₃)

Para o estudo microscópico foram elaboradas três lâminas:

- lâmina A permite o estudo da associação entre a volframite, scheelite e clorite, Fig. 75. É possível observar que apesar da expressão da scheelite a percentagem de ocorrência de volframite é superior. Aqui a scheelite rodeia a volframite e ocupa espaços vazios desta, sempre com contato com a clorite. Nesta lâmina também há uma ocorrência peculiar, a intercalação entre moscovite e clorite, Fig. 76. Apesar de ocorrerem alguns sulfuretos nesta amostra eles não são abundantes. Também no quartzo presente é de realçar a presença da apatite. Com recurso ao microscópio eletrónico de varrimento foi possível identificar nesta amostra o mineral rico em nióbio, tungsténio e titânio, embora nesta o cristal deste mineral apresentasse um zonamento em que os bordos do mesmo são mais ricos em tungsténio e titânio que o centro, Fig. 79. Com esta técnica foram ainda analisadas a volframite presente na amostra, a scheelite, Fig. 77, a apatite onde ocorrem zircões e monazites, Fig. 80 e presença de óxidos de titânio, a ilmenite. Nesta amostra é possível observar que o mineral rico em nióbio e tungsténio não ocorre apenas em volframite como anteriormente descrito, mas, também, nas micas, na scheelite e na pirite, embora todos estes minerais estejam espacialmente próximos da volframite. Quando ocorre na volframite este mineral aparenta seguir a mesma tendência de direção que os planos de inclusões fluídas.

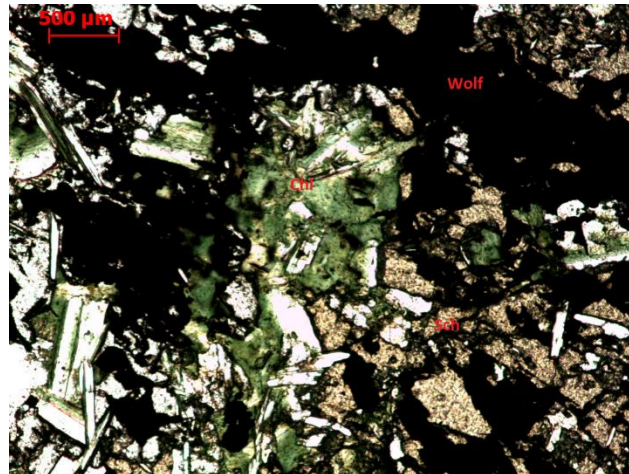


Figura 75 - Volframite associada a scheelite, moscovite e clorite. Imagem obtida ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.

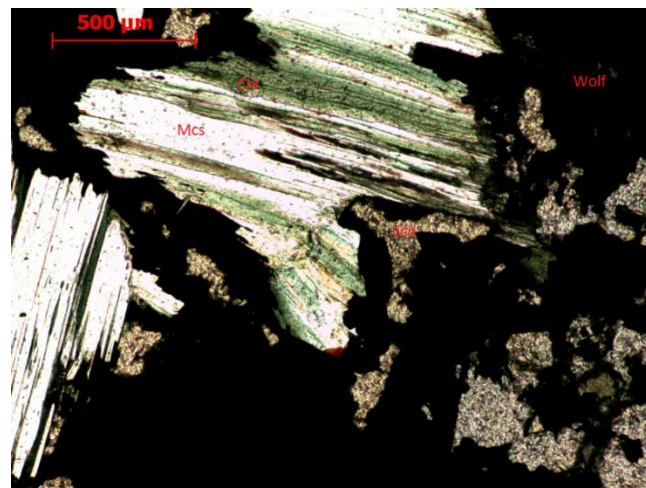


Figura 76 - Alternâncias entre moscovite e clorite em contato com a volframite. Imagem obtida em microscópio ótico polarizante, em luz transmitida e em nicóis paralelos.

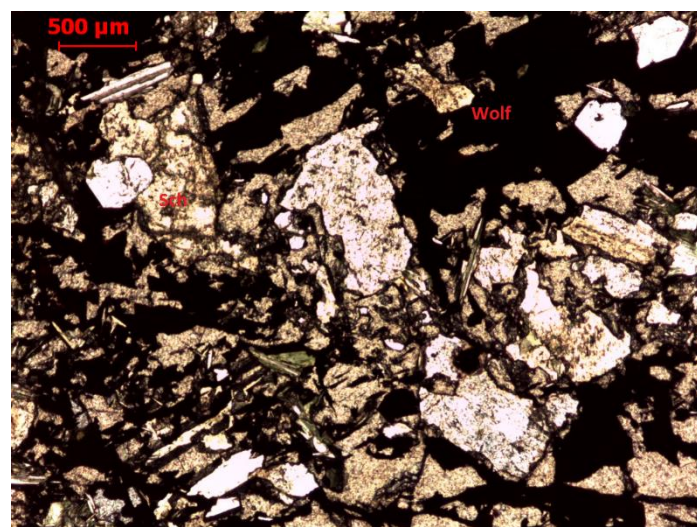


Figura 77 - Associação volframite e scheelite. Imagem obtida em microscópio ótico polarizante, em luz transmitida e em nicóis paralelos.

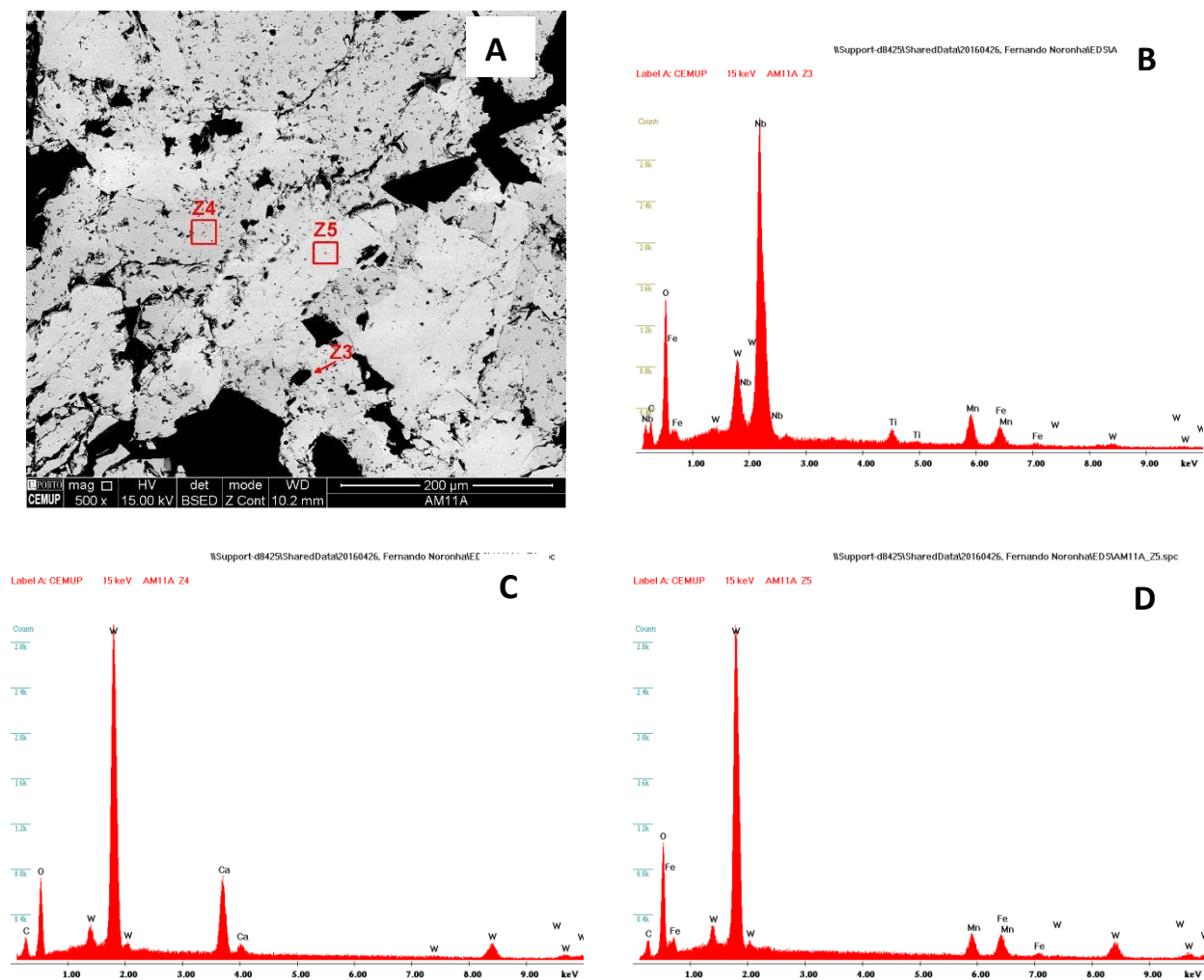


Figura 78 – Volframite e scheelite, e mineral com tungstênio e nióbio. A) Imagem obtida em microscopia eletrônica de varrimento; B) Espetro EDS de um cristal de volframite; C) Espetro EDS de um cristal de scheelite; D) Espetro EDS de um cristal de volframite.

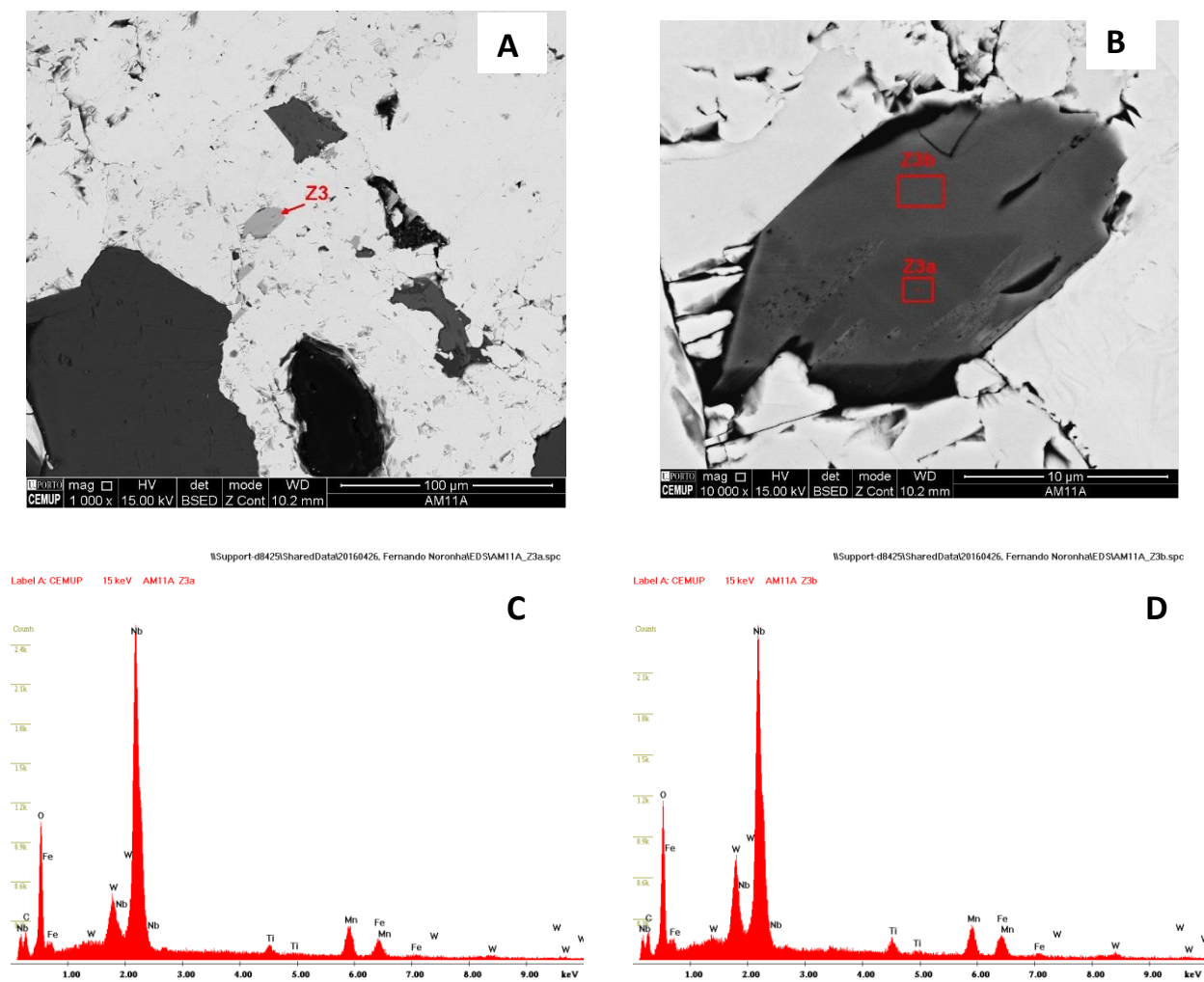


Figura 79 - Mineral com nióbio e titânio e tungstênio com zonamento. A) Imagem obtida em microscopia eletrônica de varrimento; B) Imagem obtida em microscopia eletrônica de varrimento; C) Espetro EDS da zona Z3a, zona do núcleo do cristal; D) Espetro EDS da zona Z3b, zona dos bordos do cristal.

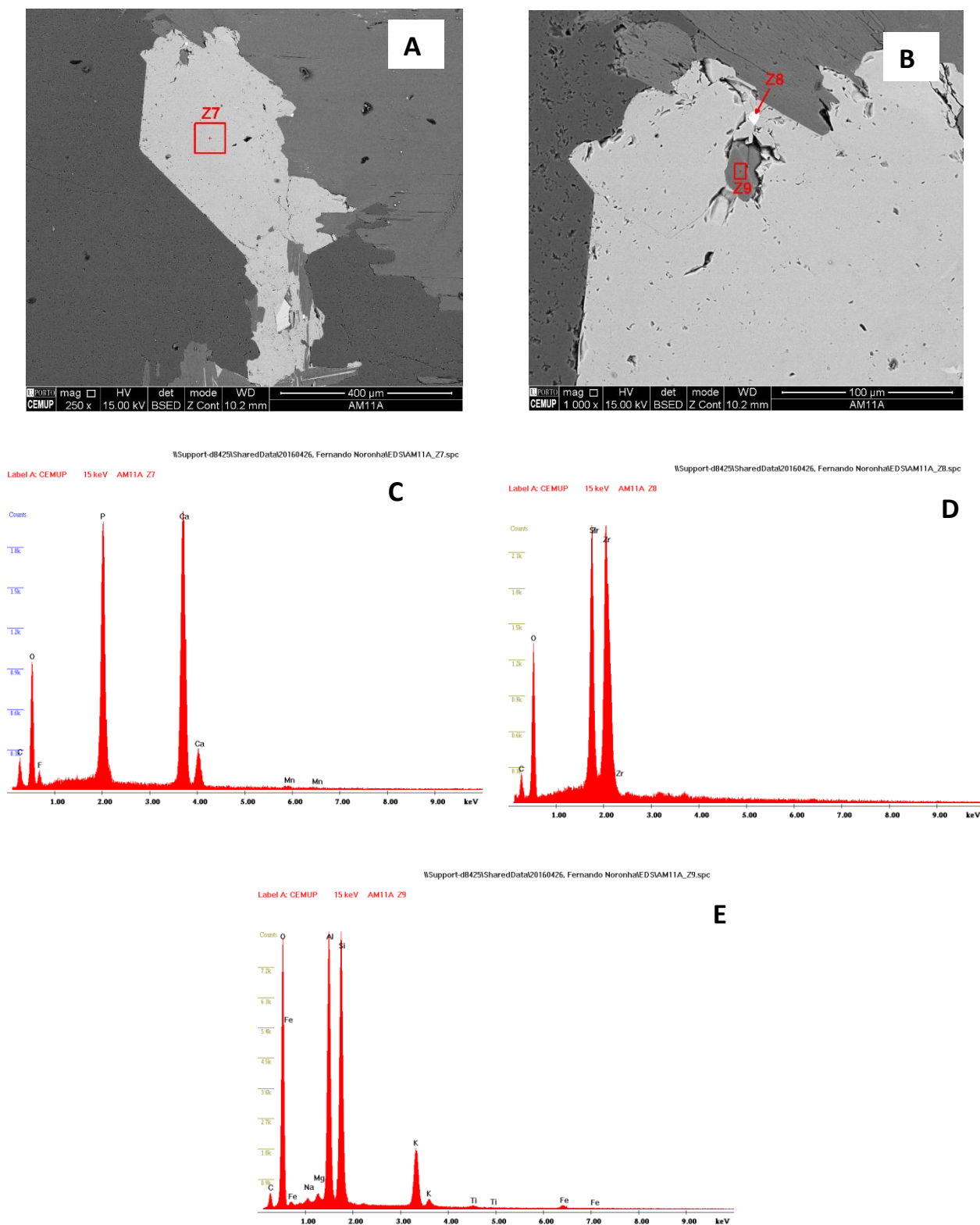


Figura 80 - Apatite com zircão e moscovite. A) Imagem em microscopia eletrônica de varrimento; B) Imagem em microscopia eletrônica de varrimento; C) Espetro de EDS de um cristal de zircão; D) Espetro EDS de um cristal de zircão; E) Espetro EDS de um cristal de moscovite.

Esta lâmina tornou-se essencial ser estudada em microsonda:

- o o mineral rico em nióbio e tungsténio revelou ter uma composição na base dos seguintes elementos: nióbio, tungsténio, ferro, manganês, tântalo, titânio, estanho e zircónio;

Tabela 8 - Análise à microsonda de um mineral de nióbio e tungsténio.

	Análise 1
Elementps	Wt. %
P ₂ O ₅	0,028
Na ₂ O	0,001
SO ₃	0,073
BaO	0,048
MgO	0,094
PbO	0,034
V ₂ O ₃	0,019
As ₂ O ₅	0,002
K ₂ O	0,002
CaO	0,039
Al ₂ O ₃	0,011
SnO ₂	0,971
FeO	8,153
ZnO	0,028
SiO ₂	0,005
TiO ₂	3,753
NiO	0,015
Ta ₂ O ₅	3,527
ZrO ₂	0,372
MnO	12,045
CoO	0,009
Nb ₂ O ₅	56,846
WO ₃	13,720
Total	100,016

- o a scheelite revelou ter composição na base dos seguintes elementos: cálcio, tungsténio e nióbio;

Tabela 9 - Análise à microsonda de scheelite.

	Análise 1	Análise 2
Elementos	Wt. %	
P ₂ O ₅	0,064	0,051
Na ₂ O	0,006	0,013
SO ₃	0,045	0,071
BaO	0,058	0,037

Tabela 10 (Cont.) - Análise à microsonda de scheelite.

Bi ₂ O ₃	0,004	0,042
PbO	0,058	0,025
V ₂ O ₃	0	0,008
As ₂ O ₅	0	0,004
K ₂ O	0	0,006
Cr ₂ O ₃	0	0,013
CaO	20,406	20,315
Al ₂ O ₃	0,002	0
SnO ₂	0	0,004
FeO	0,023	0,018
ZnO	0,012	0,039
SiO ₂	0,035	0,062
TiO ₂	0	0,002
NiO	0,012	0,022
Ta ₂ O ₅	0,062	0,029
ZrO ₂	0,094	0,088
MnO	0,016	0,016
CoO	0	0,011
Nb ₂ O ₅	0,072	0,128
WO ₃	78,136	78,374
Total	100	100

- a volframite revelou ter composição na base dos seguintes elementos: magnésio, ferro, zircónio, manganês, nióbio e tungsténio;

Tabela 11 - Análise à microsonda da volframite.

	Análise 1	Análise 2
Elementos	Wt. %	
P ₂ O ₅	0,043	0,024
Na ₂ O	0,021	0,025
SO ₃	0,056	0,073
BaO	0,043	0,029
Bi ₂ O ₃	0,044	0,071
MgO	0,043	0,118
PbO	0,013	0,011
V ₂ O ₃	0,003	0
As ₂ O ₅	0,001	0
K ₂ O	0,003	0,014

Tabela 12 (Cont.) - Análise à microsonda da volframite.

Cr ₂ O ₃	0,012	0,011
CaO	0,032	0,019
Al ₂ O ₃	0	0,000
SnO ₂	0,032	0,015
FeO	11,151	17,736
ZnO	0,091	0,043
SiO ₂	0,040	0,056
TiO ₂	0,003	0,040
NiO	0,014	0,015
Ta ₂ O ₅	0,062	0,067
ZrO ₂	0,080	0,478
MnO	13,165	6,478
CoO	0,019	0,013
Nb ₂ O ₅	0,399	0,429
WO ₃	74,221	73,451
Total	100,033	100

- a mica revelou ter composição na base dos seguintes elementos: fluor, silício, titânio, sódio, potássio, magnésio, alumínio e ferro;

Tabela 14 - Análise à microsonda de mica.

	Análise 1
Elemento	Wt. %
CaO	0,011
F	0,424
SiO ₂	46,905
TiO ₂	0,405
Na ₂ O	0,468
Cl	0,003
K ₂ O	9,902
Cr ₂ O ₃	0,067
MgO	0,611
BaO	0,017
MnO	0,044
Al ₂ O ₃	34,440
NiO	0,009
FeO	2,341
Total	100

- a clorite revelou ter composição na base dos seguintes elementos: silício, potássio, manganês, magnésio, ferro e alumínio.

Tabela 15 - Análise à microsonda de clorite.

	Análise 1
Elementos	Wt.%
TiO ₂	0,073
F	0,000
CaO	0,023
SiO ₂	22,911
Cr ₂ O ₃	0,061
Na ₂ O	0,056
K ₂ O	0,112
MnO	1,308
MgO	2,118
ZnO	0,070
FeO	41,767
Al ₂ O ₃	20,231
NiO	0,038
BaO	0,017
Total	100

- lâmina B continua a mostrar a abundância desta amostra em volframite e scheelite, bem como a sua associação com micas e sulfuretos, Fig. 81. A albite presente nesta lâmina encontra-se estável, sem indícios de qualquer tipo de perturbação da sua estabilidade, Fig. 82. É, também, possível identificar apatite, clorite, pirite e sericite, além de cristais de volframite. O microscópio ótico mostrou que nesta amostra falamos de volframite senso restrito. Nesta amostra também foi identificada galena (Fig. 84), monazite (Fig. 85), zircão, apatite, uraninite e um cristal de columbite (Fig. 86), volframite e scheelite (Fig. 83);

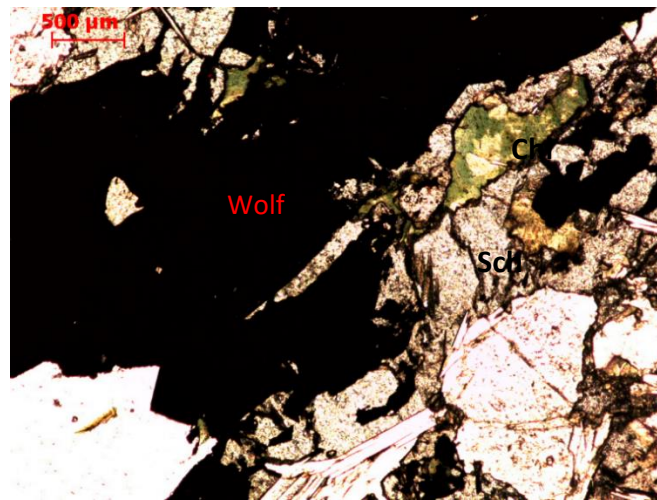


Figura 81 - Volframite com scheelite nos bordos e clorite próxima. Imagem obtida em microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.

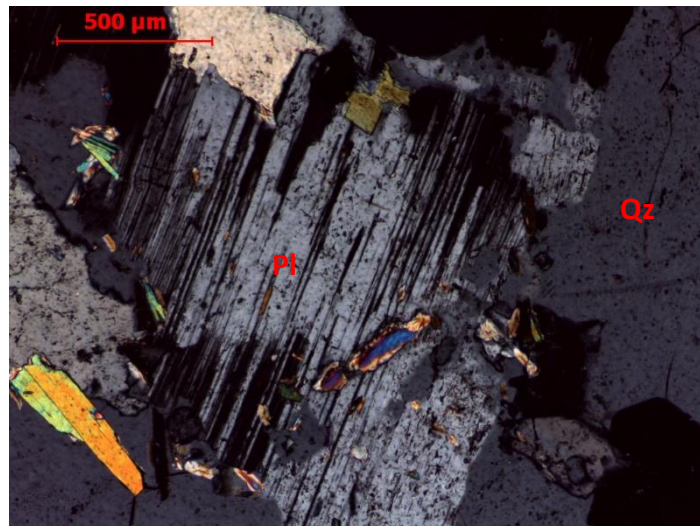


Figura 82 - Albite estável. Imagem obtida em microscopia ótica polarizante em luz transmitida e em nicóis cruzados.

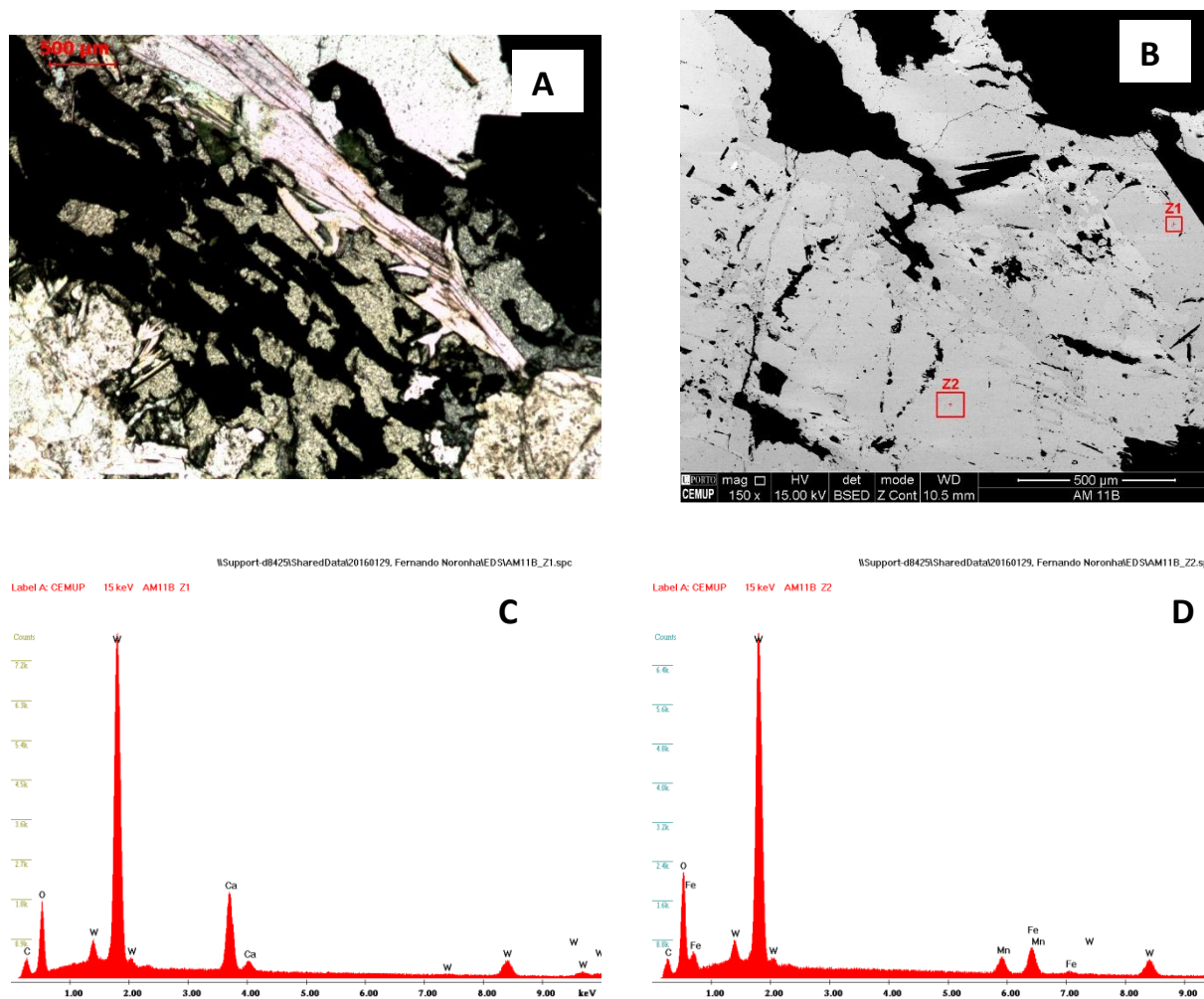


Figura 83 - Associação de wolframite e scheelite. A) Imagem obtida em microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos; B) Imagem em microscopia eletrônica de varrimento; C) Espectro EDS de um cristal de scheelite; D) Espectro EDS de um cristal de wolframite.

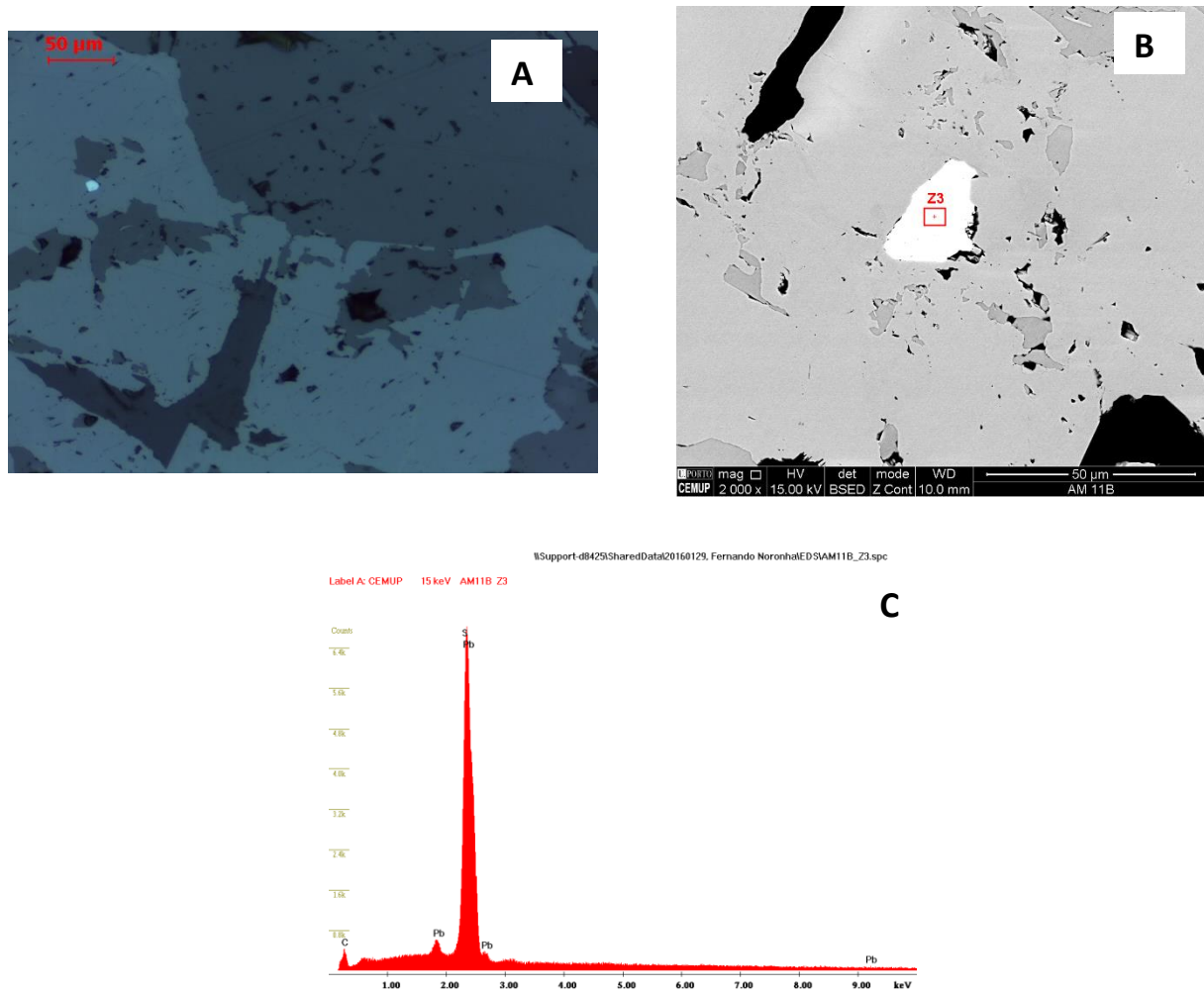


Figura 84 – Galena. A) Imagem obtida em microscópio ótico polarizante em luz refletida e em nicóis paralelos; B) Imagem obtida em microscopia eletrônica de varrimento; C) Espetro EDS de um cristal de galena.

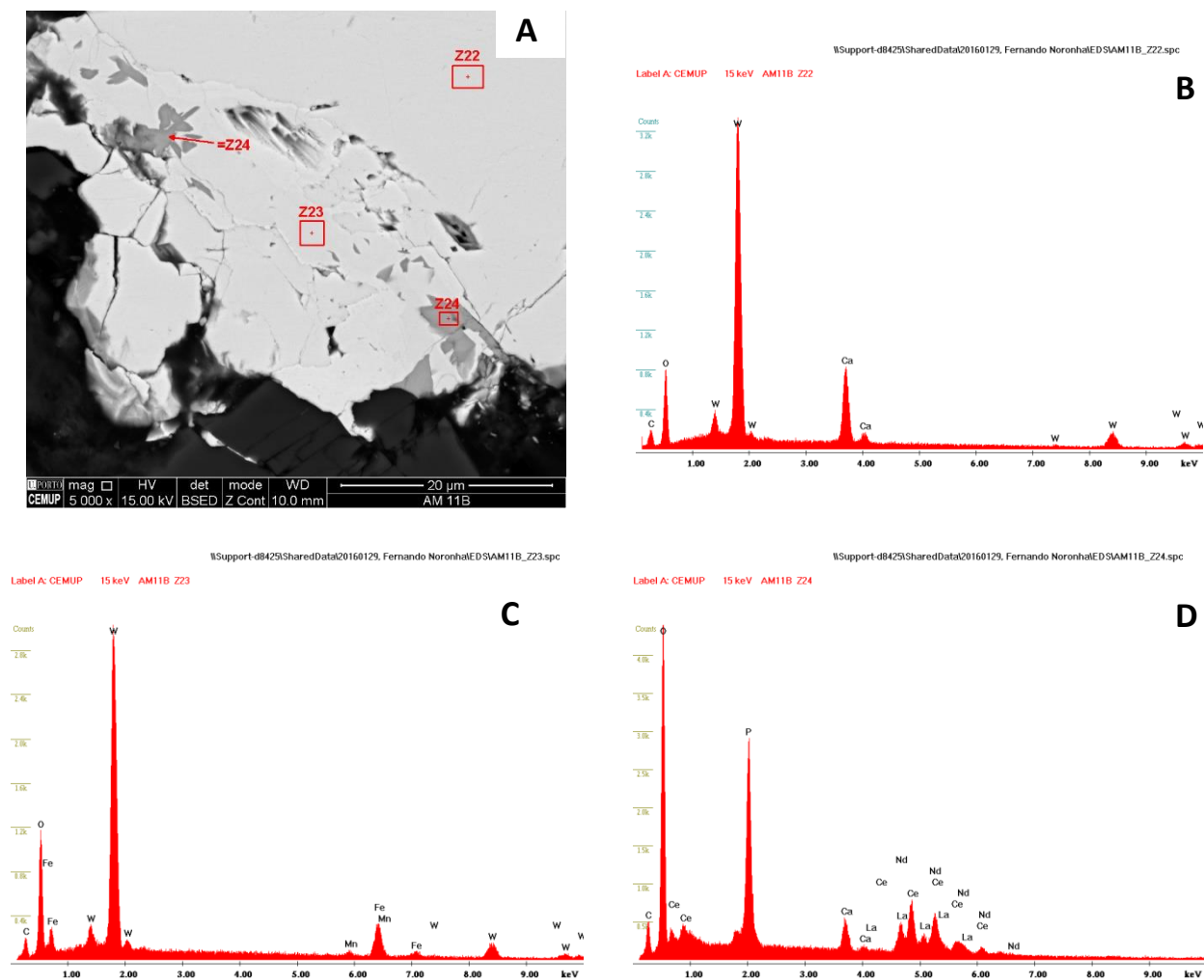


Figura 85 - Monazite presente na wolframite e scheelite. A) Imagem obtida em microscópio eletrônico de varrimento; B) Espetro EDS de um cristal de scheelite; C) Espetro EDS de um cristal de wolframite; D) Espetro EDS de um cristal de monazite.

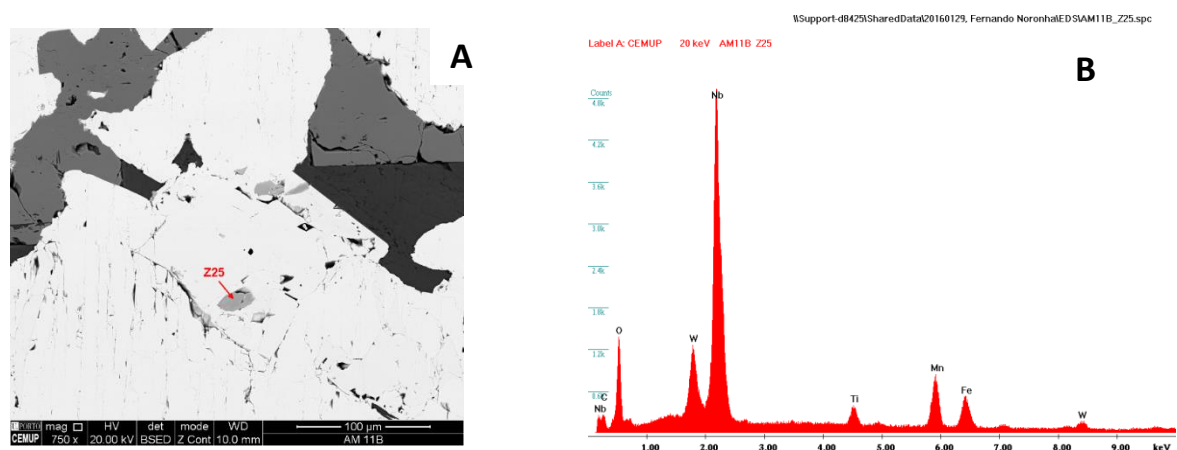


Figura 86 - Cristal de columbite. A) Imagem obtida em microscópio eletrônico de varrimento; B) Espetro EDS de um cristal de columbite.

- lâmina C permite reconhecer scheelite a rodear a volframite, e sempre próximas a esta associação encontram-se clorite e sericite, Fig. 87 e 88. A apatite, Fig. 89, aqui observada encontra-se no quartzo, próximo a cristais de scheelite.

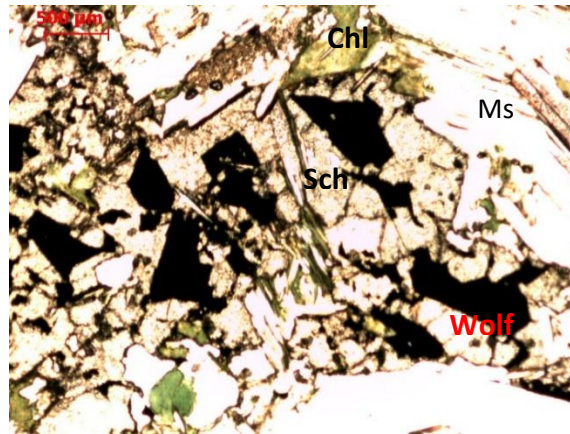


Figura 87 - Cristais de volframite rodeados por scheelite sendo que esta tem no contato clorite e sericite. Imagem ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida e em nicóis paralelos.

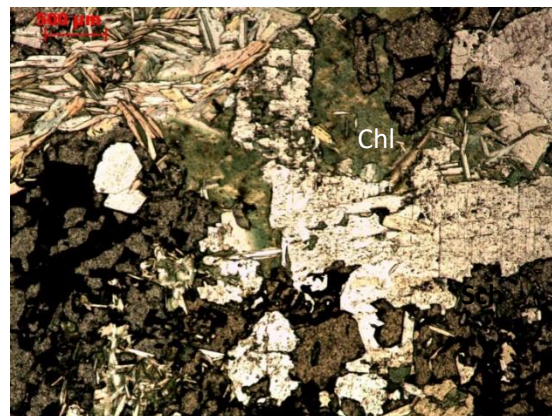


Figura 88 - Volframite e scheelite com clorite e sericite. Imagem ao microscópio ótico polarizante de luz transmitida e em nicóis paralelos.

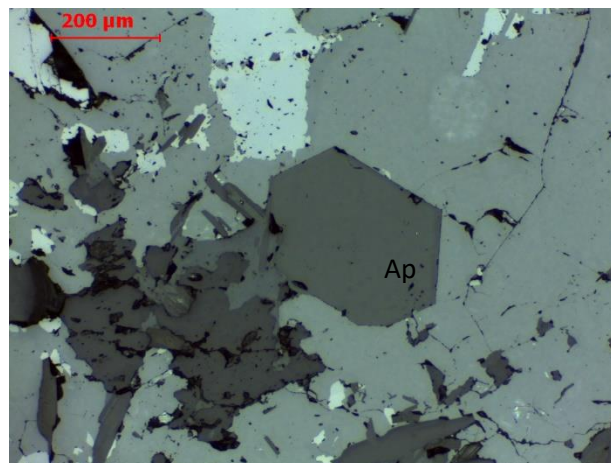


Figura 89 - Apatite no quartzo. Imagem obtida em microscópio ótico polarizante em luz refletida e em nicóis paralelos.

4.2.3. Sequência de deposição mineral

Neste subcapítulo é inferida a sequência de deposição mineral na brecha Santa Helena.

Para inferir a sequência de deposição é necessário analisar as relações geométricas entre os cristais, embora haja sempre um erro associado pois a terceira dimensão nem sempre é intuitiva.

É de salientar que o corpo brechóide em estudo é heterogéneo e que certos minerais presentes nele possuem um tempo de cristalização bastante longo ou ainda propriedades e características muito semelhantes entre diferentes gerações do mesmo.

Torna-se, assim, fundamental esquematizar a deposição dos mesmos. No intuito de obter informações complementares relativas à sequência de deposição tentou-se associar os principais períodos de deposição a etapas de alteração hidrotermal. Foram definidas três etapas caracterizadas por diferentes fases silicatadas

A primeira etapa é caracterizada fundamentalmente pela formação de biotite á qual se seguiu a moscovite mais quartzo. Correspondeu ao período de deposição da monazite, apatite e outros fosfatos, ilmenite e cassiterite I.

Uma segunda etapa é caracterizada por sericite mais quartzo. Esteve associada à deposição de tungstatos. O principal é a volframite mais rica em Fe que em Mn que ocorre por vezes associada a scheelite. A pirite euédrica também se deposita neste estágio e a ela associa-se uma clorite I.

Numa terceira etapa deu-se a deposição de clorite II junto com a deposição dos principais sulfuretos (pirite II, calcopirite e esfalerite). De salientar o curto espaço de tempo em que se depositam os sulfuretos, onde, mesmo assim, é possível ordena-los cronologicamente, tendo a esfalerite sido o primeiro, seguido da pirite II, e por fim calcopirite. No final desta etapa depositaram-se fases menores de sulfuretos (galena, bismutinite e sulfossais de Ag e Cu e de Cd e Zn) bem como bismuto nativo. De referir a ocorrência de escassas palhetas de volframite II e de cassiterite II.

Tardiamente ocorreram alterações de natureza supergénica, como a alteração de calcopirite para covelite.

Na tabela 8 encontra-se ilustrada a sequência de deposição obtida para a amostragem realizada, tendo sido considerados os minerais com maior percentagem de ocorrência ao longo de toda a sondagem.

Tabela 13 - Paragénese mineral da brecha Santa Helena.

	Alteração hidrotermal		
	Biotite ± Moscovite ± Quartzo	Sericite ± Quartzo ± Clorite I	Clorite II
Quartzo	—	—	—
Volframite		—	—
Scheelite		—	
Cassiterite	—		—
Calcopirite			—
Pirite		—	—
Galena			—
Biotite	—		
Moscovite	—		
Clorite		—	—
Sericite		—	
Apatite	—		
Monazite	—		
Zircão	—		
Albite	—		
Bismuto			—
Ilmenite	—		
Oxido Nb- W		—	—
Covelite			—

4.3. Comparação dos estudos da Borralha

Na tabela 14 foi feita comparação entre os diferentes estudos realizados ao jazigo da Borralha.

Tabela 14 - Tabela de comparação dos diferentes estudos mineralógicos à Borralha

			Noronha (1983)	Lima (2015) Bo_5	Mindat (2016)	Bo_8a/14 Presente estudo
Óxidos e hidróxidos	Anatase		+		+	
	Cuprite		+		+	
	Goethite		+		+	
	Hematite		+		+	
	Hydrokenolismoreite Ferritungstite				+	
	Magnetite		+		+	
	Tungstite		+		+	
	Quartzo		+	+	+	+
	Meymacite				+	
	Cassiterite			+		+
	Ilmenite			+		+
	Rútilo					+
Carbonatos	Bismutite				+	
	Siderite		+		+	
Sulfuretos e sulfossais	Arsenopirite		+		+	
	Bismutinite		+	+	+	
	Bornite		+		+	
	Calcosite		+		+	
	Calcopirite		+	+	+	+
	Covelite		+	+	+	+
	Galena		+	+	+	+
	Marcassite		+	+	+	
	Molibdenite		+	+	+	
	Pirite		+	+	+	+
	Pirrotite		+		+	
	Esfalerite (Blenda)		+	+	+	+
	Estanite		+	+		
	Zinkenite				+	
	Matildite		+	+		
	Greenockite			+		
	Aikinite		+			
	Pavonite		+			
Halides	Fluorite		+		+	
	Albite				+	
	Ripidolite				+	
	Epidoto		+		+	
	Moscovite		+	+	+	+
	Biotite			+		+
	Sericite			+		+
	Turmalina				+	+
	Clorite		+	+	+	+
	Plagióclase			+		+
	Zircão					+
	Feldspato K		+		+	+
	Adulária		+			
Tungstatos	Scheelite		+	+	+	+
	Volframite	Ferberite				+
		Volframite	+	+	+	+
Fosfatos	Monazite			+		+
	Apatite		+	+	+	+
	Xenótimo					+
Volframo – ixiolite						+?
Sulfossais			+	+		+
Bismuto nativo			+	+		+

4.4. Comparação do estudo da Borralha com Puy-les-Vignes

Início da comparação dos estudos realizados a Puy-les-Vignes com o estudo realizado nesta dissertação.

Tabela 15 - Comparação entre o estudo a brecha Santa Helena com a brecha de Puy-les-Vignes

	Puy les Vignes	Borralha (Bo_8a/14)
Apatite		+
Arsenopirite	+	
Biotite		+
Bismutinite	+	
Bismuto	+	+
Calcopirite	+	+
Cassiterite	+	+
Clorite	+	+
Columbite	+	
Covelite		+
Enargite	+	
Esfalerite	+	+
Estanite	+	
Feldspato K		+
Ferberite	+	
Ferroskutterudite	+	
Fluorite		+
Fosfatos REE		+
Galena		+
Ilite	+	
Ilmenite		+
Molibdenite	+	
Monazite	+	+
Moscovite	+	+
NTox	+	
Óxidos de Fe	+	+
Pirite	+	+
Pirrotite	+	
Plagioclase		+
Quartzo	+	+
Rooseveltite	+	
Russellite	+	
Rútilo	+	+
Scheelite	+	+
Scorolite	+	
Sericite		+
Siderite	+	
Sulfossais	+	+
Tungstite	+	
Turmalina	+	
Volframite	+	+
volframoixiolite	+	+?
Xenotimo	+	+
Zircão	+	+

Capítulo 5 - Conclusões

5. Conclusões

Este estudo contribuiu para o conhecimento de um tipo específico de jazigo de tungsténio ao permitir melhor conhecer a morfologia e mineralogia da brecha Santa Helena.

A brecha é limitada por duas falhas a nascente e a poente e é constituída por elementos de xisto, mais á superfície e depois e em profundidade por granitos de diferentes tipos. Assim, de acordo com o analisado na sondagem Bo_8a/14, foi possível inferir a sequência de deposição e as fácies mineralógicas presentes. Existem essencialmente dois grupos de minerais, os minerais não metálicos e os minerais metálicos. No grupo dos minerais não metálicos foram identificados essencialmente os seguintes minerais: quartzo, moscovite, biotite, clorite, plagioclase, apatite, monazite, zircão, entre outros que ocorrem de forma mais escassa. Quanto ao grupo dos minerais metálicos foram identificados os seguintes: volframite, scheelite, pirite, calcopirite, esfalerite, galena. É, ainda, de referir a presença de sulfuossais de Ag e Cu e de Cd e Zn.

Quanto à sequência de deposição hidrotermal é de ressaltar as três fases de alteração hidrotermal (moscovitização, sericitização e cloritização). De referir a turmalinização ligeira em xistos e caulinização em elementos graníticos e alteração supergénica de sulfuretos.

A distribuição de teores é heterogénea não dependendo da litologia à qual se encontra associada.

Em comparação com trabalhos anteriores existem algumas semelhanças quanto à mineralogia, dos filões explorados nas minas da Borralha. Contudo quer no presente estudo quer no que o precedeu sobre a estrutura brechóide pode concluir-se que existe um período de deposição mais precoce e que o tipo de mineralização de tungstatos é, também, diferente pois esta está disseminada nos elementos e no cimento da brecha. A mineralização deste corpo possui elevado interesse económico, quer pela presença de tungstatos quer pela presença de minerais ricos em elementos de terras raras.

Sugere-se um estudo mais pormenorizado dos minerais ricos em terras raras de modo a quantifica-los e um estudo ao outro corpo brechóide, a brecha Venise, de modo a perceber se esta, também, possui mineralização.

Referências bibliográficas

Referências bibliográficas

Amossé, J., 1976, Détermination expérimentale de la pression et de la température de formation d'un filon quartzeux wolframifère. Approche théorique. Bull. Soc. Franc. Minér. Cristallogr, Paris, 121-127.

Amossé, J., 1978a, Physicochemical study of hubnerite-ferberite (MnWO_4 - FeWO_4). Zonal distribution in wolframite ($\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{WO}_4$) deposits. Applications to the Borralha mine (Portugal), Phys. Chem. Min., Berlin, 331-341 pp.

Amossé, J., 1978b, Variation in wolframite composition according to temperature, at Borralha, Portugal and Enguayals, France, Econ. Geol., New Haven 1170-1175 pp.

BGS, 2011, Tungsten, Minerals UK, 34pp.

Bonnici, J., 1972, Mines de Borralha. Étude du quartier Venise. (Relatório não publicado).

Bryant, D., 1968, Intrusive breccias associated with ore, Warren (Bisbee) mining district. Arizona, Econ. Geol. (New Haven. Conn.) 63 (1) 1-12.

Comissão Europeia, 2010, Critical Raw Materials. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, 84pp.

Conde, L., Pereira, V., Ribeiro, A. Thadeu, D., 1971, Jazigos Hipogénicos de Estanho e volfrâmio. I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica. Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Lisboa. 81 pp.

Dias, R., Ribeiro, A., 1995. The Ibero Armorican Arc: a collision effect against an irregular continent? Tectonophysics, 246, 113-128.

Ferro, M., 1957, Nota sobre o cálculo de reservas do stockwerk. (Relatório não publicado).

Gaillard, J., 1972, Étude géologique du gisement de wolfram de Borralha Portugal, (Relatório não publicado).

Harlaux, M., Marignac, C., Cuney, M., Magott, R., Mercadier, J., 2015b, Nb-Ti-Y-HREE-W-U oxides with uncommon composition associated with the tungsten mineralization in the Puy-les-Vignes deposit (Massif Central, France): evidence for rare-metal mobilization by late hydrothermal fluids with a peralkaline signature., The Canadian Mineralogist, vol. 53, 653-672.

Harlaux, M., Marignac, C., Cuney, M., Mercadier, J., 2015a, The Puy-les-Vignes breccia pipe (Massif Central, France): a unique occurrence of polymetallic W-Nb±Ta-HREE-Bi-Cu-As±Au-Ag mineralization in the Variscan belt, SGA, 4 pp.

Johnston, W., Lowell, J., 1961, Geology and origin of mineralized breccia pipes in copper basin, Arizona. *Econ. Geol.*(New Haven,Conn.) 56 (5) 916-940.

Konstantinov, M., 1978, Genetic types of ore-bearing breccias. *Internat.Geol.Rev.*(Falls Church,Va.) 20 (3) 289-294 pp.

Lima, L., 2015, Contribuição para o estudo da mineralogia da brecha Sta. Helena – Minas da Borralha, Rel. Estágio, Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 184 pp.

Lotze, F., 1945. Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotektonische Forschungen*, 6, 78-92.

Matte, P., Ribeiro, A., 1975, Forme et orientation de l'ellipsoïde de déformation dans la virgation hercynienne de Galícia: Relation avec le plissement et hypothèses sur la genèse de l'arc Ibeiro-Armoricain, *C. R. Acad. Sci.*, 280, 2825 – 2828 pp.

Mateus, A., Noronha F., 2001, Late-Variscan crustal uplift of the Iberian Terrane as a response to isostatic rebound; implications for the brittle-ductile transition, fluid circulation and metallogenesis. *Mem. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Porto*, vol. 7, 295-298.

Moura, A., Dória, A., Neiva, A.M.R., Gomes, A.L., Creaser, R.A., 2013. Metallogenesis at the Carris W–Mo–Sn deposit (Gerês, Portugal): Constraints from fluid inclusions, mineral geochemistry, Re–Os and He–Ar isotopes, vol. 56, 73-93.

Neiva, J., 1944, Greisenização e seus fatores geoquímicos. *Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico – Extracto do fasc. I, Tomo XXIX – Anais da Faculdade de Ciências do Porto*, 1-14 pp.

Neiva, A., 1982, Geochemistry of muscovite and some physico-chemical conditions of the formation of some tin-tungsten deposits. In: EVANS, A.M.- Metallization Associated with add magmatism. *John Wiley & Sons,Ltd. Londres*. 243-259 pp.

Neiva, A.M.R., 2002. Portuguese granites associated with Sn–W and Au mineralizations. *Bull. Geol. Soc. Finl.* 74 (1–27), 79–101.

Noronha, F., 1974, Étude des inclusions fluides dans les ouartz des filons du gisement de tungstène de Borralha (Nord du Portugal). (Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto 4ª Sér. Nr.85). Porto.

Noronha, F. 1976, Niveaux à scheelite dans la zone tungstifère de Borralha. Leur importance metallogénique. Pub. do Mus. Lab. de Mineral. Geol. da F. C. do Porto, 4ª série, LXXXVII, 7-16.

Noronha, F. 1979. Les brèches du gisement de tungstène de Borralha (Nord Portugal). Quelques données pour leur classification. Pub. do Mus. E Lab. de Mineral. E Geol. da F. C. do Porto, 4ª série, XCI, 187-212.

Noronha, F. 1982. Rochas graníticas do triângulo Gerês-Barroso-Cabreira: suas relações com a mineralização em Sn e W-Mo. Pub. do Mus. Lab. de Mineral. Geol. da F. C. do Porto, 4ª série, XCIII, 1-39.

Noronha, F., 1983. Estudo metalogénico da área tungstífera da Borralha. Tese de doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 477 pp.

Noronha, F., Ramos, J., Rebelo, J., Ribeiro, A., Ribeiro, M., 1979. Essai de corrélation des phases de déformation hercynienne dans le nord-ouest péninsulaire. Bol. Soc. Geol. Portg. Lisboa, 21 (2/3), 227-237.

Noronha, F., Ribeiro, M.L., 1983, Mapa e Notícia Explicativa da folha 6-A da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Nunes, P., 2010, Proposta de Reabilitação de Locais de Armazenamento de Resíduos Mineiros da Antiga Mina da Borralha, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 145 pp.

Prouhet, J., Bonnici, J., 1972, Remarques et hypothesis sur le reseau filonien de Borralha Portugal, (Relatório não publicado).

Ribeiro, A. 1974. Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes oriental, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 168 pp.

Ribeiro, M.A, Martins, H., Almeida, A., Noronha, F., 2000. Notícia Explicativa da Folha 6-C (Cabeceiras de Basto) da Carta Geológica de Portugal à Escala de 1/50 000. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 48 pp.

Ribeiro, A., Pereira, E., Dias, R., 1990. Structure in the Iberian Peninsula. In: R. D. Dallmeyer e E. Martinez Garcia (Eds.), Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Springer-Verlag, Berlin, 220-236.

Rudnick, R.L., Gao, S., 2003, Composition of the continental crust, Treatise on Geochemistry, vol.3, Elsevier, 1-64.

Sousa, J., 2010, Reabilitação das Instalações Industriais das Antigas Minas da Borralha Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 74 pp.

Thadeu, D., 1977, Hercynian paragenetic units of the portuguese part of the hesperic massif, Bol.Soc.Geol.Portg., Lisboa, 247-276 pp.

Vera, J., 2004, Geología de España. Sociedad Geológica de España, *Instituto Geológico y Minero de España*. 21-25 pp.

Werner, A.B.T., Sinclair, W. D., Amey, E.B., 2014, International strategic mineral issues summary report – tungsten, U.S. Geological Survey Circular 930-O, 74 pp.

Whitney, D.L., Evans, B. W, 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals, American Mineralogist, vol.91, 185-187.

Webgrafia

CEMUP, 2016, <http://www.cemup.up.pt/>

Mindat, 2016. Consultado a 16/1/2016, <http://www.mindat.org/locdetailed-46420.html>

Empresa de Desenvolvimento Mineiro, 2016. Consultado em 20/1/2016, <http://www.edm.pt/html/enquadramento.htm>

Turribarroso (2016). Cc